



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUSSI VIDERHOLM
PIENJÄNNITESÄHKÖVERKKOJEN MITOITUSOHJELMIEN
VERTAILU
Diplomityö

Tarkastaja: professori Pertti Järven-
tausta
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 7. touko-
kuuta 2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan koulutusohjelma

VIDERHOLM, JUSSI: Pienjännitesähköverkkojen mitoitusohjelmien vertailu

Diplomityö, 49 sivua, 14 liitesivua

Huhtikuu 2015

Pääaine: Teollisuuden sähkönkäyttötekniikka

Tarkastaja: professori Pertti Järventausta

Avainsanat: pienjänniteverkko, mitoittaminen, oikosulku, jännitteen alenema, suojaus, OLS-Consult, ABB Doc 2.0, Schneider Ecodial, NePlan

Asennusmääräykset SFS 6000 edellyttävät että oikosulkuvirrat, jännitteenalenemat ja suojalaitteiden poiskytkentäajat on selvitettävä jo suunnitteluvaiheessa. Tähän tarkoitukseen on nykyisin tarjolla monia erilaisia mitoitus- ja laskentaohjelmia, jotka helpottavat pienjänniteverkon mitoittamista. Jokaisella ohjelmalla on kuitenkin omat vahvuutensa ja heikkoutensa ja tästä syystä jokainen ohjelma soveltuu eritavalla erilaisten verkkojen tutkimiseen.

Tässä työssä tutkitaan mitoitusohjelmien sopivuutta pienjänniteteollisuusverkon mitoittamiseen. Työssä mitoitetaan Vantaan Energian uuden jätevoimalaitoksen keskuksen JOBFC lähdöt käyttäen apuna OLS-Consult, ABB Doc 2.0, NePlan ja Schneider Ecodial mitoitusohjelmia. Ohjelmia arvioidaan niiden monipuolisuuden, käytettävyyden sekä dokumentointi ja projektin hallintaominaisuuksien mukaan. Lisäksi työssä tehdään lyhyt kartoitus muista markkinoilla käytössä olevista mitoitusohjelmista. Eri ohjelmilla saatuja mitoitus tuloksia tutkitaan lyhyesti.

Lopuksi vertaillaan eri ohjelmien vahvuuksia ja heikkouksia ja näiden perusteella jokaisen ohjelman osalta käydään läpi, minkälaiseen projektiin ja laskentaan ohjelmat parhaiten sopisivat.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

VIDERHOLM, JUSSI: Comparison of low voltage system's calculation software

Master of Science Thesis, 48 pages, 14 Appendix pages

April 2015

Major: Utilization of electrical energy

Examiner: Professor Pertti Järventausta

Keywords: low voltage network, sizing, short circuit, voltage drop, protection, OLS-Consult, ABB Doc 2.0, Schneider Ecodial, NePlan

The installation regulations in standard SFS 6000 require that short circuit currents, voltage drops and the operation times of protective devices must be calculated during electrical planning. For this purpose one can use different kind of electrical calculation or sizing programs that can make the sizing of low voltage grid easier. Every program has its own advances and weaknesses and therefore some programs are better suited for certain kind of calculations.

This thesis researches different calculation software's suitability for sizing a low voltage industry network by sizing Vantaan Energia's new waste-to-energy plant's switchboard JOBFC's outputs using four different programs. The programs used are OLS-Consult, ABB Doc 2.0, NePlan and Schneider Ecodial. The programs are evaluated by using three criteria; versatility, usability and documentation properties. Thesis also consists of a short report of available programs for sizing. The sizing results that the programs produce are also shortly inspected.

In last part of the thesis every program's advances and weaknesses are compared and summarized. For every program are also given a specific kind of project or case, in which the program would probably be best suited for.

ALKUSANAT

Diplomityö on tehty Pöyry Finland Oy:n Tampereen toimistopisteen Local Project Services (LPS) automaatio- ja sähköosastolle. Työ tehtiin vuoden 2014 aikana. Työssä on käytetty osia kandidaatin työstäni 'Sähkön vaikutus ihmiseen ja sähköturvallisuus'.

Haluan kiittää työn tarkastajaa professori Pertti Järventaustaa opastuksesta ja kommentista työhön liittyen. Lisäksi haluan kiittää työn ohjaajaa Pöyryllä diplomi-insinööri Tapio Snellmania opastuksesta työn teon aikana ja arvokkaista näkemyksistä työn rakenteen ja toteutuksen suhteen. Kaikki kommentit, jotka sain työn teon aikana, olivat erittäin arvokkaita ja selkeyttivät työn kokonaisuuden rakentamista.

Lopuksi vielä haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni kaikesta tuesta, jota olen saanut opintojeni ja diplomityön teon aikana.

SISÄLLYS

1	Johdanto	1
1.1	Diplomityön tavoite	1
1.2	Sähkösuunnitteluprojektin rakenne Pöyryllä	1
2	Pienjänniteverkko.....	3
2.1	Jakelujärjestelmät	3
2.1.1	TN-C-järjestelmä	3
2.1.2	TN-S-järjestelmä.....	4
2.1.3	TN-C-S-järjestelmä.....	5
2.1.4	TT-järjestelmä.....	5
2.1.5	IT-järjestelmä.....	6
2.1.6	Tasasähköjärjestelmät	6
2.2	Sähkönjakelu teollisuuden pienjänniteverkossa.....	9
2.2.1	Muuntajat ja tasajännitelaitteistot	9
2.2.2	Sähkökeskukset ja jakelu	10
2.2.3	Teollisuusverkossa huomioitavat asiat	10
3	Pienjänniteverkon mitoitus ja suojaus.....	12
3.1	Johdon mitoitus	12
3.1.1	Johdon kuormitettavuus.....	12
3.1.2	Jännitteenalenema johdossa.....	13
3.2	Suojalaitteiden mitoitus.....	13
3.2.1	Vikasuojaus.....	14
3.2.2	Ylikuormitussuojaus	22
3.2.3	Oikosulkusuojaus.....	23
3.2.4	Ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksen yhteensovittaminen	26
4	Pienjänniteverkon mitoitusohjelmat	27
4.1	Vertailuun valitut laskentaohjelmat	27
4.1.1	OLS-Consult ohjelmat	27
4.1.2	ABB Doc 2.0.....	28
4.1.3	Schneider Ecodial	29
4.1.4	NePlan.....	29
4.2	Muita verkostolaskentaohjelmia	30
4.2.1	Trimble NIS	30
4.2.2	Febdok	30
5	Esimerkkiverkon laskenta ja mitoitus	32
5.1	OLS-Consult laskenta	33
5.2	ABB Doc 2.0 laskenta.....	34
5.3	Schneider Ecodial laskenta	35
5.4	NePlan laskenta.....	36
5.5	Mitoituksen tulokset.....	37

6	Laskentaohjelmien vertailu	40
6.1	Monipuolisuus.....	40
6.2	Käytettävyys.....	41
6.3	Dokumentointi ja projektin hallinta	43
7	Yhteenveto	45
	Lähteet.....	48
	Liite 1: Jätevoimalaitoksen verkko	
	Liite 2: OLS-Consult mitoitustaulukot	
	Liite 3: ABB Doc 2.0 mitoituksen raportti	
	Liite 4: Schneider Ecodial verkkomalli ja mitoituksen raportti	
	Liite 5: NePlan laskennan tulokset	

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

c	kerroin, joka ottaa huomioon vikavirtapiirin jännitelähteen impedanssin osuuden kokonaisimpedanssista
d	kerroin, jolla määritetään oikosulkuvirtoja laskettaessa kaavojen suurinta ja pienintä oikosulkuvirtaa
i_p	sysäysoikosulkuvirta
I	virta
I_a	vikavirta
I_{dyn}	laitteen dynaaminen kestovirta
I_{k1}	yksivaiheinen oikosulkuvirta
I_{k1_min}	pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta
I_k''	kolmivaiheinen oikosulkuvirta
$I_{k''_max}$	suurin kolminaiheinen oikosulkuvirta
I_d	IT-järjestelmän ensimmäisen vian vikavirta
I_m	Johdonsuojakatkaisijan pikalaukaisuvirta
I_{th}	ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta
I_{thr}	laitteen terminen oikosulkuvirtakestoisuus
l	johdon pituus
m	tarkasteltavan piirin suojajohtimen ja vaihejohtimen resistanssien suhde
r	ominaisresistanssi
r_j	vaihejohtimen resistanssi
r_0	nollajohtimen resistanssi
R_A	jännitteelle alttiiden osien maadoituselektrodin resistanssi
R_B	järjestelmän keskipisteen maadoituselektrodin resistanssi
R_m	muuntajan oikosulkuresistanssi
R_{m0}	muuntajan nollaresistanssi
R_{PE}	suojajohtimen resistanssi referenssipisteestä jännitteelle alttiiseen osaan
t_0	vaadittu laukaisuaika
t_1	todellinen laukaisuaika vikavirralla I_a
T_k	oikosulkuvirran kesto aika
T_{kr}	laitteen nimellistä termistä oikosulkukestoisuutta vastaava vikaaika
U	pääjännite
U_n	nimellisjännite
U_t	kosketusjännite
U_v	vaihejännite
x	ominaisreaktanssi
x_j	vaihejohtimen reaktanssi
x_{j0}	vaihejohtimen nollareaktanssi

x_0	nollajohtimen reaktanssi
X_m	muuntajan oikosulkuresistanssi
X_{m0}	muuntajan nollareaktanssi
Z	impedanssi
Z_L	vaihejohtimen impedanssi
Z_M	muuntajan impedanssi
Z_{PE}	PE-johtimen impedanssi
Z_{PEN}	PEN-johtimen impedanssi
Δu	suhteellinen jännitteenalenema
ΔU	jännitteenalenema
κ	oikosulkuvirran sysäyskerroin
φ	jännitteen ja virran välinen vaihekulma
a.c.	vaihtojännite
d.c.	tasajännite

1 JOHDANTO

Tapaturmien valossa pienjänniteverkko on pahin vaarallisten kosketusjännitteiden aiheuttaja. 60 % kuolemaan johtavista sähkötapaturmista tapahtuu pienjännitteillä, joten pienjänniteverkon suojaukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota niin paloturvallisuuden kuin henkilöturvallisuuden kannalta. Teollisuudessa myös sähköverkon luotettavuus on tärkeä tekijä, joten verkon kyky tunnistaa vikatilanteet ja rajoittaa ne mahdollisimman pienelle alueelle on tärkeä osa haittojen minimoimista. [1, s. 159]

1.1 Diplomityön tavoite

Tässä työssä vertaillaan pienjännitesähköverkkojen laskenta- ja mitoitusohjelmia. Vertailuun on valittu ohjelmia, joiden eroavaisuuksista haluttiin tietoa Pöyry Oy:n Tampereen Local Project Services yksikössä. Työn tarkoituksena on tutkia ja selvittää vertailuun valittujen ohjelmien ominaisuudet ja verrata niitä Pöyryllä nyt käytössä oleviin OLS-Consult Oy:n ohjelmiin. Lisäksi työssä kartoitetaan lyhyesti muita markkinoilla olevia pienjänniteverkon laskentaohjelmia. Työn ohessa ja tuloksien pohjalta tehdään lyhyt suunnitteluohje pienjännitesähköverkon mitoituksesta Pöyryn sisäiseen käyttöön.

Vertailu toteutetaan mitoittamalla Vantaan Energian uuden jätevoimalaitoksen valitut teollisuusverkon osat vertailun laskentaohjelmilla. Laskentaan valitaan teollisuusverkon sellainen osa, jonka mitoittaminen on mielekästä jokaisella ohjelmalla. Näin saadaan vertailukelpoisia tuloksia, joilla voidaan vertailla laskentaohjelmien monipuolisuutta ja soveltuvuutta teollisuusverkon mitoittamisen osalta. Ohjelmien käytettävyys tulee myös huomioida vertailussa.

1.2 Sähkösuunnitteluprojektin rakenne Pöyryllä

Tässä kappaleessa on esitetty sähkösuunnittelun eri vaiheet Pöyryllä lyhyesti. Sähkösuunnitteluprojektin rakenne Pöyryllä voidaan jakaa karkeasti neljään eri osaan. Varsinaiseen projektin aloittamiseen, perus- ja deltajisuunnitteluun sekä as-built-dokumentointiin. Toteutussuunnittelun sisältämät perus- ja deltajisuunnittelujen rajat eivät kuitenkaan ole tarkkaan määriteltyjä vaan voivat sisältää osia toisistaan puolin ja toisin. [2]

Projektin aloittamiseen kuuluu projektipäällikön valinta ja projektin eri osapuolten kanssa pidettävä aloituspalaveri. Aloituspalaverissa sovitaan eri osapuolten kanssa esimerkiksi seuraavista asioista:

- Projektin laajuus

- Projektin tavoitteet
- Resurssien määrittäminen (avainhenkilöt jne.)
- Suunnittelutyökalut
- Edelliset vastaavat toimeksiannot
- Standardit ja ohjeet
- Aikataulut

Projektipäällikön tulee pitää huolta, että projekti on mahdollista viedä läpi aloituspalaverissa sovitulla resursseilla vaaditussa aikataulussa, ja että vaaditut laatuvaatimukset täytetään. [2]

Toteutussuunnittelu jakaantuu perus- ja detaljisuunnitteluun. Useimmiten näiden kahden suunnitteluvaiheen raja on häilyvä ja molempia täytyy suunnitella samanaikaisesti. Perussuunnittelussa tehdään sähkönjakelun perusratkaisut ja se muodostaa detaljisuunnittelulle pohjan. Perussuunnittelussa kootaan lähtötiedot, määritetään hankinnat ja annetaan tarvittavat lähtötiedot muille suunnittelualoille. Detaljisuunnittelussa puolestaan tehdään kaikki toimituksissa, asennuksissa, käyttöönotossa, kunnossapidossa, käytössä ja koulutuksessa tarvittavat dokumentit kuten piirustukset, kuvaukset, ohjeet jne. Näiden pohjalta toteutetaan varsinaiset asennukset työmaalla. [2]

Tärkeä osa suunnittelun etenemistä on jatkuva kommunikointi muiden toimijoiden ja asiakkaan kanssa. Tämän seurauksen perus- ja detaljisuunnittelun toteutus on oltava joustavaa, koska suunnitelmat voivat muuttua kesken suunnitteluprosessin huomattavasti alkuperäisestä. [2]

Lopuksi projekti viimeistellään suunnittelun osalta tekemällä as-built-dokumentaatio työmaalta saatavien tarkekuvien mukaisesti. Tarkekuviiin on merkitty työmaalla tehdyt muutokset. Usein valmiista suunnitelmista joudutaan poikkeamaan työmaalla olevien rajoitusten tai kätevämpien asennustapojen vuoksi. Tämän seurauksena loppukuvat tulee korjata vastaamaan todellisia asennuksia. [2]

Varsinainen verkostolaskenta ja mitoitus sijoittuvat pääosin perussuunnittelun puolelle suunnitteluprosessissa. Usein kuitenkin mitoittamiselle on tarvetta myös detaljisuunnittelupuolella, esimerkiksi tilanteissa, joissa sähkönjakeluun tulee muutoksia kesken projektin. Mitoittaminen on siis suuri osa toteutussuunnittelukokonaisuutta.

Verkon mitoittaminen lähtee liikkeelle selvittämällä aluksi laskettavan verkon rakenne. Tämän jälkeen lasketaan verkon eri osissa esiintyvät vikavirrat. Vikavirtojen ja nimellisten kuormien avulla voidaan eri verkon osien ja komponenttien oikosulkukestoisuudet mitoittaa siten, että ne kestävät termiset ja mekaaniset rasitukset vian aikana, kuitenkin niin etteivät suojat laukea normaalin kuormituksen aikana. Lisäksi on huomioitava suojien laukeaminen vaaditussa ajassa myös pienimmillä vikavirroilla. Tarpeen tullen voidaan vikavirtojen suuruutta rajoittaa kuristimilla tai kytkeä vikavirrat pois lyhyemmässä ajassa, jos vikavirtojen suuruudet ovat yli sallittujen arvojen.

2 PIENJÄNNITEVERKKO

Pienjänniteverkko käsittää sen verkon osan, jonka nimellinen jännite on alle 1 kV. Keski-jänniteverkosta liitytään pienjänniteverkkoon muuntajan välityksellä, jolla muunnetaan verkon nimellinen pääjännite usein joko 400 V tai 690 V tasoon. Pienjänniteverkon välityksellä tapahtuu sähkönjakelu loppukäyttäjille tai kojeille.

Pienjänniteverkossa käytetään erilaisia jakelujärjestelmiä eri käyttökohteissa. Yhteistä eri järjestelmille kuitenkin on, että suojauksesta on huolehdittava vikatilanteen sattuessa niin, ettei vaaraa loppukäyttäjälle aiheutuisi tai se voitaisiin ainakin minimoida.

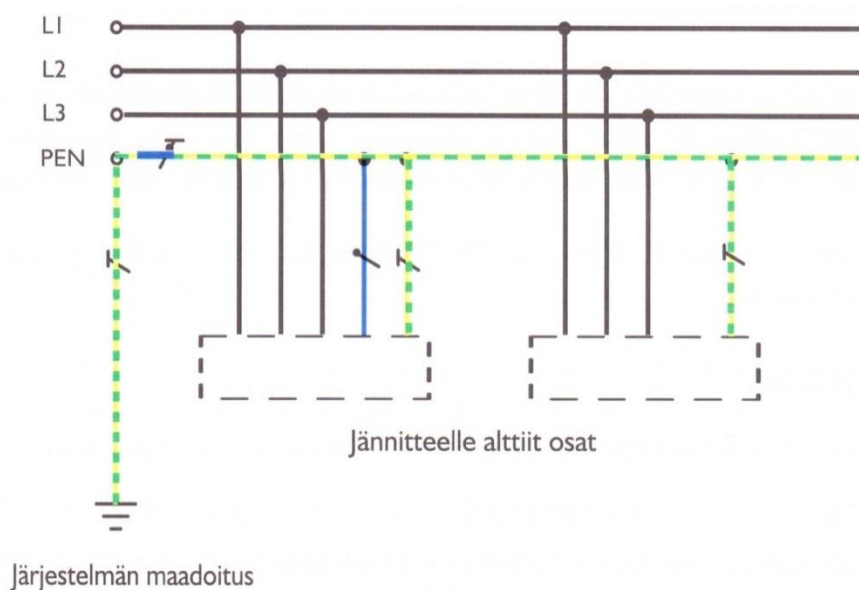
2.1 Jakelujärjestelmät

Pienjänniteverkko voidaan jakaa useaan eri jakelujärjestelmään järjestelmän maadoitustavasta riippuen. Eri jakelujärjestelmiä ovat TN-, TT- ja IT-järjestelmät. TN-järjestelmät jaotellaan lisäksi suojajohtimen käytön perusteella TN-S-, TN-C- ja TN-C-S-järjestelmiin. Kyseinen jaottelu toimii myös tasajännitejärjestelmille. [3, s. 63]

Järjestelmiä voidaan myös yhdistää toimimaan samassa sähköverkossa. Tavallisin yhdistäminen on TN-C- ja TN-S-järjestelmien yhdistäminen, jolloin TN-C-järjestelmästä tehdään TN-C-S-järjestelmä joko talon sisäisessä verkossa tai TN-C-järjestelmästä TN-S-järjestelmä siirryttäessä pienjännitejakeluverkosta rakennuksen verkkoon. IT-järjestelmä puolestaan yhdistetään TN-järjestelmään muuntajan välityksellä. Eri järjestelmien vikasuojausta tarkastellaan luvussa 3.2.1. [3, s. 67]

2.1.1 TN-C-järjestelmä

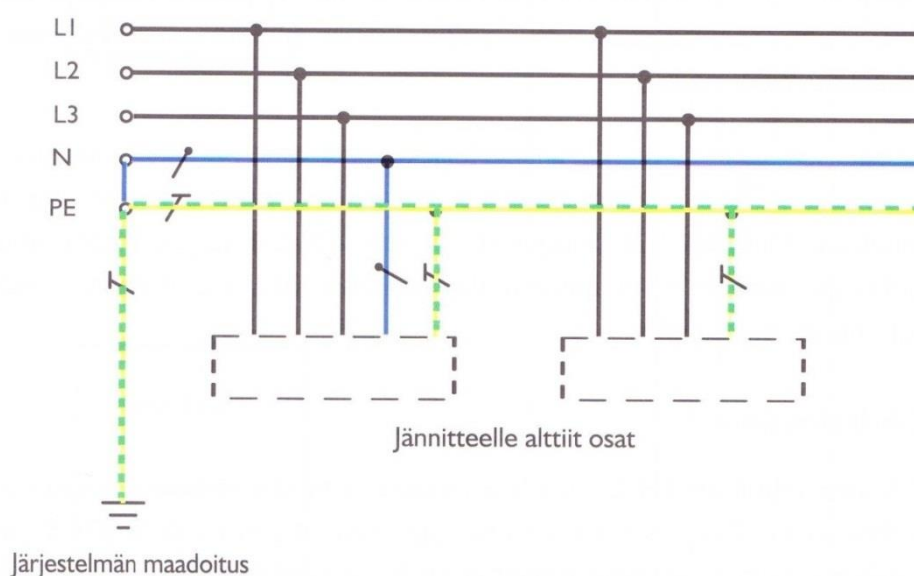
TN-C-järjestelmässä sama PEN-johdin toimii sekä suojamaadoitus- että nollajohtimena koko järjestelmässä. TN-C järjestelmää saa käyttää vain, jos johtimien poikkipinta-ala on vähintään 10 mm² kuparia tai 16 mm² alumiinia [4, s.11]. Uudiskohteissa ei saa PEN-johdinta käyttää lainkaan liittymiskohdan jälkeen. TN-C järjestelmää käytetään käytännössä vain kolmivaihejärjestelmänä, joten johtimia on neljä (3xL+PEN). Kuvassa 2.1. on esitetty TN-C-järjestelmä. [3, s. 63–64]



Kuva 2.1. TN-C-järjestelmä. [3, s. 64]

2.1.2 TN-S-järjestelmä

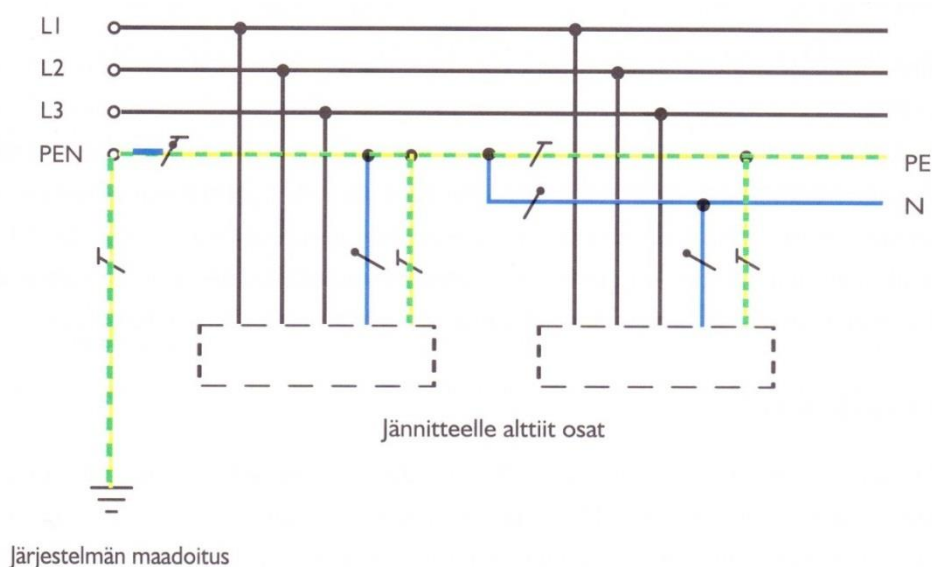
TN-S järjestelmässä on erillinen nolla- ja suojamaadoitusjohdin koko järjestelmässä. Rakennusten sähköasennuksissa käytetään TN-S järjestelmässä nollajohdinta, mutta teollisuudessa (esimerkiksi moottorikäytöissä) voidaan nollajohdin jättää tietyissä tapauksissa kytkemättä, koska sen käyttäminen olisi tarpeetonta, kun kyseessä on symmetrinen ja yliaalloton kolmivaiheinen kuorma. Kolmivaihejärjestelmissä johtimia on viisi ($3 \times L + N + PE$) tai neljä ($3 \times L + PE$). Yksivaihejärjestelmissä johtimia on kolme ($L + N + PE$). Kuvassa 2.2. on esitetty TN-S-järjestelmä. [3, s. 63]



Kuva 2.2. TN-S-järjestelmä. [3, s. 63]

2.1.3 TN-C-S-järjestelmä

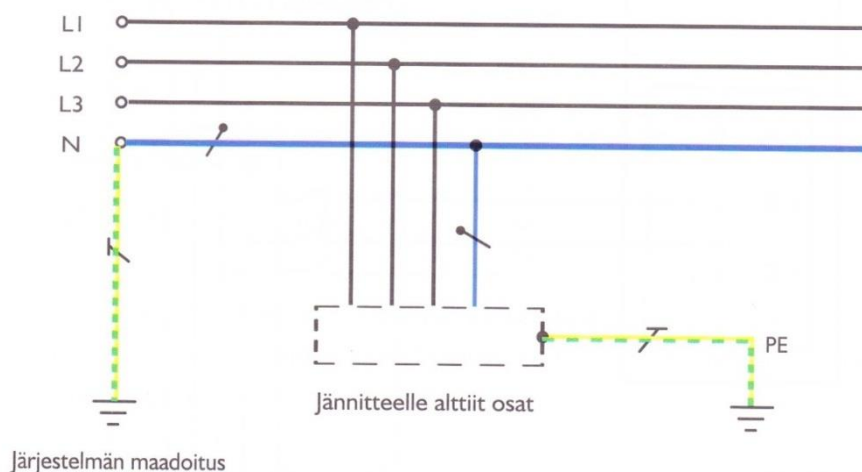
TN-C-S-järjestelmä on yhdistelmä TN-S- ja TN-C-järjestelmistä. TN-C-S-järjestelmässä on erotettu syöttävän verkon PEN-johtimesta erilleen suojamaadoitus- ja nollajohdin. TN-C-S-järjestelmässä TN-C-järjestelmä on aina syöttävän verkon puolella TN-S-järjestelmään nähden, koska toisistaan erotettua nolla- ja suojajohdinta ei saa kytkeä uudelleen yhteen PEN-johtimeksi. Kuvassa 2.3. on esitetty TN-C-S-järjestelmä. [3, s. 64]



Kuva 2.3. TN-C-S-järjestelmä. [3, s. 64]

2.1.4 TT-järjestelmä

TT-järjestelmässä on tavallisesti muuntajan tähtipiste suoraan maadoitettu. TT-järjestelmä eroaa TN-järjestelmästä kuitenkin sähkölaitteistojen ja -laitteiden suojamaadoituksen perusteella. TT-järjestelmässä sähkölaitteistot ja -laitteet maadoitetaan erillisen tai erillisten maadoituselektrodien avulla, jotka tulee määritelmän mukaan olla sähköisesti erillisiä syöttöverkon maadoituselektrodiin nähden. TT-järjestelmää ei käytetä Suomessa, mutta se on yleinen Keski- ja Etelä-Euroopassa. Kuvassa 2.4. on esitetty TT-järjestelmä. [3, s. 66]

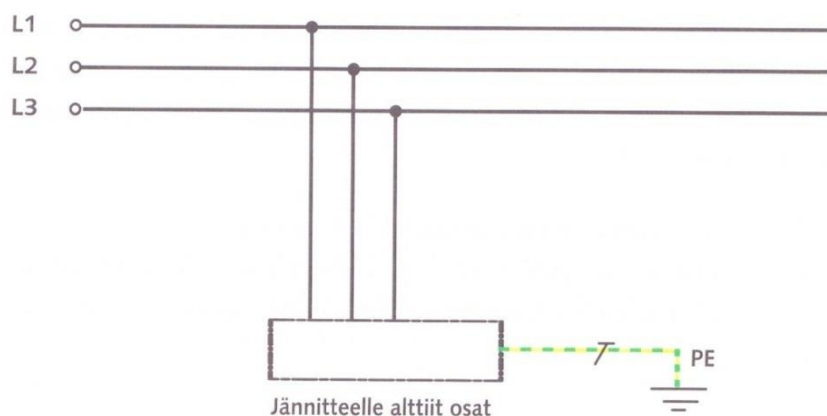


Kuva 2.4. *TT-järjestelmä.* [3, s. 66]

2.1.5 IT-järjestelmä

IT-järjestelmä on maasta erotettu järjestelmä, eli mitään virtapiirin osaa ei ole suoraan kytketty maahan. IT-järjestelmässä voidaan käyttää nollajohdinta mutta sitä ei suositella. Sähkölaitteistojen ja -laitteiden jännitteelle alttiit osat kytketään erillisiin maadoituselektrodeihin tai yhteiseen elektrodiin suojamaadoitusjohtimen välityksellä. Yhteinen elektrodi voi olla myös verkon maadoituselektrodi. [3, s. 66]

IT-järjestelmä voidaan myös toteuttaa kytkemällä se maahan impedanssin välityksellä. Impedanssin suuruus valitaan sovelluskohteen perusteella. IT-järjestelmää käytetään yleisimmin teollisuudessa ja sairaaloiden leikkaussalien jakelujärjestelmissä. IT-järjestelmiä käytetään tiloissa, joissa ensimmäinen eristysvika ei saa aiheuttaa katkoa sähkönsyötön kannalta. Kuvassa 2.5. on esitetty IT-järjestelmä. [3, s. 66]

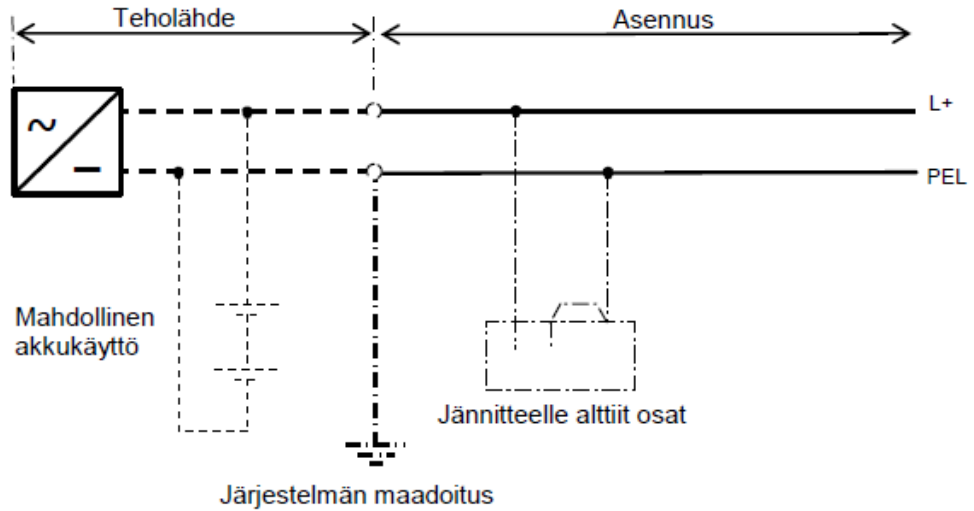


Kuva 2.5. *IT-järjestelmä.* [3, s. 67]

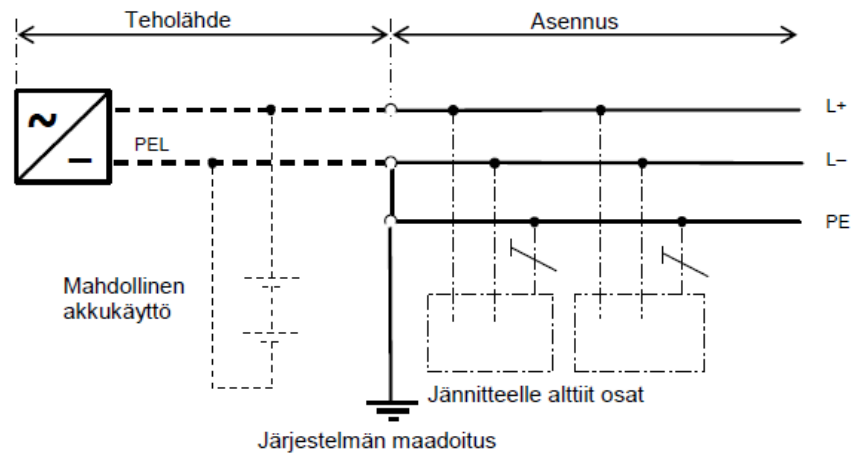
2.1.6 Tasasähköjärjestelmät

Tasasähköjärjestelmissä voidaan tehdä myös jako TN-, TT- ja IT-järjestelmiin. Tasasähköjärjestelmissä on tarpeen ottaa huomioon maadoitusjärjestelyt. Päätös siitä,

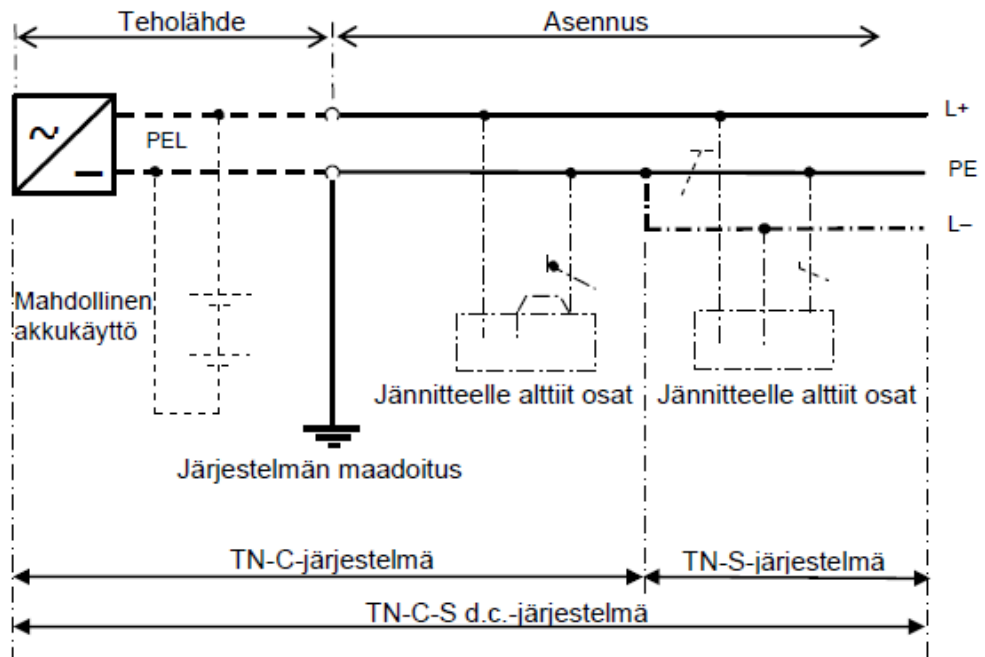
maadoitetaanko positiivinen vai negatiivinen napa, tulee perustua käyttöolosuhteisiin tai muuhun harkintaan, esimerkiksi äärijohtimien ja maadoitusjärjestelmien korroosionhallintaan. Kuvissa 2.6.–2.10. on esitetty eri tasasähköjärjestelmät. [5 s. 53]



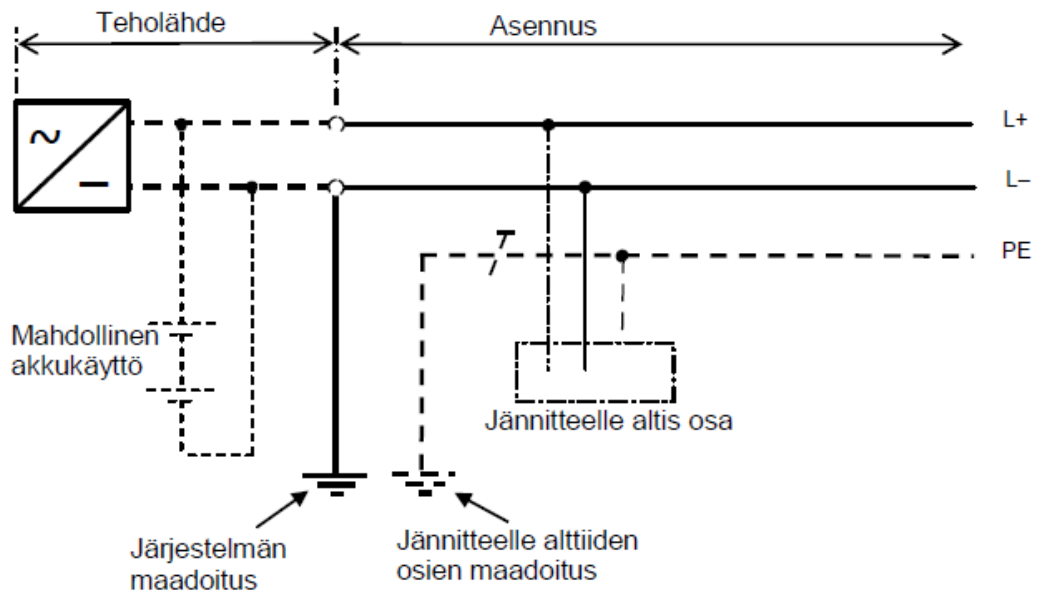
Kuva 2.6. TN-C-järjestelmä. [5, s. 54]



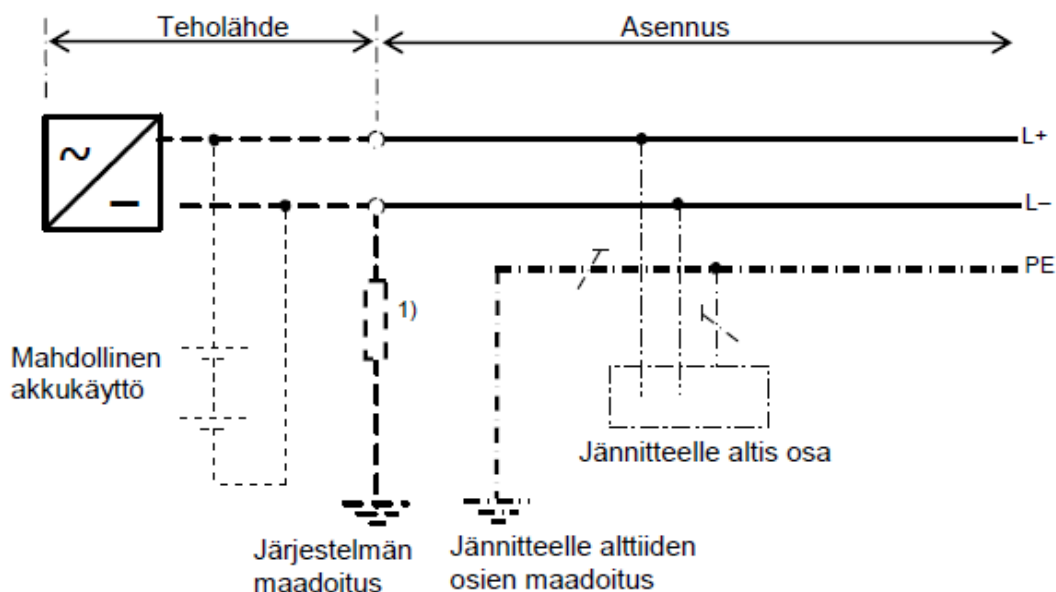
Kuva 2.7. TN-S-järjestelmä. [5, s. 53]



Kuva 2.8. Tasavirta TN-C-S-järjestelmä. [5, s. 55]



Kuva 2.9. TT-järjestelmä. [5, s. 55]



Kuva 2.10. IT-järjestelmä. [5, s. 56]

Kuten kuvista 2.6–2.10 huomataan, on suurin ero tasasähköjärjestelmillä vaihtosähköjärjestelmiin verrattuna syöttölähteessä ja johdinten määrässä. Tasasähköjärjestelmiä ei syötetä vaihtosähköjärjestelmän tapaan muuntajalla tai generaattorilla, vaan tasasuuntaajalla tai akustolla. Tasasähköjärjestelmiä käytetäänkin usein ohjausjännitteenä tai osana varasyöttöjärjestelmää erilaisissa teollisuuden sovelluksissa.

2.2 Sähkönjakelu teollisuuden pienjänniteverkossa

Pienjänniteverkon rakenne on hyvin porrasmainen ja suojauksesta on huolehdittava jokaisessa verkon osassa. Teollisuudessa pienjänniteverkkoa syötetään normaalitilanteessa muuntajan välityksellä tai vaihtoehtoisesti sähkön toimituksen katketessa varageneraattorilla. Muuntajalta syötetään pääkeskusta, joka puolestaan voi syöttää yhtä tai useampaa alakeskusta. Näin syntyy teollisuusalueen sisälle porrasmainen rakenne keskusten välille, jossa voi olla useita muuntajia ja eri jännitetasoja. Lisäksi teollisuuden sähköverkoissa on usein huomioitava asioita, joita ei muissa verkoissa tarvitse ottaa huomioon, kuten sähkö- ja prosessitilojen lämpötilat, toimitusvarmuus kriittisiin prosessin osiin sekä räjähdysvaaralliset tilat. [6]

2.2.1 Muuntajat ja tasajännitelaitteistot

Teollisuuden pienjänniteverkkoja syötetään usein 110 kV suurjännitteellä, joka muutetaan 20 kV tasoon teollisuusalueen omalla muuntamolla. 20 kV keskijännite puolestaan muutetaan usein joko 690 V tai 400 V pienjännitetasoon muuntajien avulla, jotka sijaitsevat lähellä pääkeskuksia ja prosessin osaa, jota varten jännitetaso vaaditaan. Muitakin jännitetasoja voi esiintyä riippuen laitteiden vaatimista syöttöjännitteistä. Syöttö muun-

tajalle, joka muuttaa 20 kV tason pienjännitteeksi, toteutetaan kaapeleilla, mutta usein muuntajan ja pienjännitepääkeskuksen välinen yhteys on toteutettu kiskosillalla. Teollisuudessa keskijännitetasosta pienjännitetasoon jännitteen muuttavien muuntajien koko vaihtelee paljon riippuen keskuksista ja prosessin osasta, jota muuntaja syöttää.

Teollisuuden pienjännitejakeluun kuuluu myös oleellisena osana tasajännitejakelu. Tasajännite tasoja voi olla useita teollisuusverkossa, yleisimpiä ovat 220 V, 110V, 48V ja 24 V tasot. Tasajännitettä käytetään esimerkiksi laitteiden ohjausjännitteinä. Tasajännitteen avulla siirretään myös tieto niistä hälytyksistä, jotka eivät siirry väyläliitännän välityksellä hälytyskeskuksiin tai muille laitteille. Useimmiten tasajännitejakelu on toteutettu tasasuuntaajan ja akuston kanssa, jolloin tasasuuntaajan vikaantuessa tai sähköjakelun katketessa kyseiseen osaan, voidaan akustolla pitää järjestelmä toiminnassa vielä usean tunnin ajan. Vaihtoehtoisesti tasajännitejärjestelmä voi olla myös varmennettu, jolloin laitteisto on toteutettu kaksinkertaisena, jolloin toisen tasasuuntaajan vikaantuessa voidaan ottaa toinen tasasuuntaaja myös syöttämään toisen järjestelmän kuormat.

2.2.2 Sähkökeskukset ja jakelu

Teollisuuden pienjänniteverkoissa on aina useita eri sähkökeskuksia ja usein myös monia eri jännitetasoja. Muuntaja syöttää pääkeskusta, joka jakaa sähkön edelleen eri sähkökojeille ja mahdollisesti alakeskuksiin. Näin saadaan verkolle porrasmainen rakenne, jossa suojaus perustuu keskuksiin sijoitettaviin suojalaitteisiin. Keskuksien jännitekestoisuudet ja koot on huomioitava suunniteltaessa verkkoa.

Sähkökeskuksilta lähtevät kuormat suojataan suojalaitteilla, jotka tulee mitoittaa kuorman mukaan. Erilaisia kuormia on monenlaisia lämmityksestä erityyppisiin moottoreihin, joten suojalaitteen valintaan ja tyyppiin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Kuorman mukaan määritetään oikea suoja sekä johdintyyppi ja -paksuus. Verkostolasennan kannalta oleellisinta on huomioida moottorikuormien kannalta onko kyseessä suoraan verkkoon kytketty moottori (PF/DOL) vai taajuusmuuttajaohjattu moottori (FC/VDC), koska taajuusmuuttajassa on sisäänrakennettuna suojaukset, jolloin erillisiä suojia ei tarvita.

2.2.3 Teollisuusverkossa huomioitavat asiat

Useimmiten teollisuusverkon suunnittelussa on huomioitava asioita, jotka on otettava huomioon teollisuusympäristössä. Näiden asioiden huomioiminen on tärkeää turvallisuuden sekä verkon suojauksen kannalta. Teollisuusympäristö on haastavampi niin laitteille, kuin muillekin verkon komponenteille, joten oikeat laite- ja komponenttivalinnat ovat tärkeä osa verkon toiminnan kannalta.

Teollisuusverkossa esiintyvien laitteiden tehot voivat vaihdella erittäin paljon alle kilowatin tehoista useisiin megawatteihin, joten oikean suojan valinta ja mitoittaminen on erittäin tärkeää. Lisäksi osa kuormista ottaa käynnistyessään suuremman tehon kuin jatkuvassa toiminnassa, kuten suoraan verkkoon kytketyt moottorikuormat tai tietyn-

tyyppiset valaistukset. Tämän takia oikean suojalaitteen valinta kuormille on oleellista niin turvallisuuden kuin laitteiden suojauksenkin kannalta. Erilaisia kuormia voidaan suojata erityyppisillä katkaisijoilla, moottorisuojakytkimillä, sulakkeilla tai johdon-suojakatkaisijoilla. Useimmiten kuorman tyyppi ja teho rajoittavat mitä suojausta voidaan käyttää, jotta suojaus ehdot toteutuvat. [6]

Lisäksi teollisuusverkoissa on huomioitava erikoisolosuhteet ympäristön osalta. Korkea lämpötila voi olla rasittava tekijä joissakin prosessin osissa, jolloin tämä on otettava huomioon johtojen kuormitettavuuden kannalta ja laitteiden kestävyys osalta. Lisäksi räjähdysalttiit tilat, niin sanotut ATEX-tilat, on otettava huomioon. Näihin tiloihin tulee asentaa vain laitteita, joilla on tarpeeksi suuri IP-luokitus koteloinnin osalta ja ATEX-hyväksyntä. Usein tarvitsee myös huolehtia siitä, että tietty prosessin osa tai teollisuusalueen valaistus ja turvajärjestelmät eivät heti katkea palon seurauksena, jolloin osa kaapeleista tulee asentaa palonkestävinä ja kaapeleita varten tehdyt reiät seinissä on suljettava palon kestäväillä suluilla. Joissain prosessin osissa kosteus voi olla myös haittana, jolloin tarpeeksi korkea IP-luokitus ja korroosion kestävyys voivat olla edellytyksenä laitteita valittaessa.

Useimmiten suojalaitteiden toimiessa on siitä saatava ilmoitus valvomoon. Tätä varten on teollisuudessa usein omat hälytyskeskukset, joiden välityksellä hälytysviestit hoidetaan signaalikaapeleiden avulla, tai vaihtoehtoisesti hälytys voidaan toteuttaa väyläliitintäänä apuna käyttäen, mikäli laitteet sellaista tukevat. Oleellista on saada tieto valvomoon tai etäkäyttäjälle vikaantuneesta verkon osasta, jotta vaadittaviin toimenpiteisiin voidaan ryhtyä.

3 PIENJÄNNITEVERKON MITOITUS JA SUOJAUS

Kappaleessa käsitellään niitä SFS 6000 standardin määäämiä pienjänniteverkon ehtoja, joita verkostolaskentaohjelmilla voidaan laskennallisesti tarkastella. Näihin kuuluvat johtojen ja suojalaitteiden mitoituksien tarkastelu.

3.1 Johdon mitoitus

Johto tulee mitoittaa oikein, jotta välttyttäisiin johdon liialliselta lämpenemiseltä. Johdon liiallinen lämpeneminen voi alentaa johdon käyttöikää nopeuttamalla eristeen vanhene- mista tai pahimmassa tapauksessa aiheuttaa tulipalon. Mitoituksessa tulee ottaa myös huomioon taloudellisuus sekä johdon pituus, jotta jännitteenalenema pysyy sallituissa rajoissa. [3, s. 216]

3.1.1 Johdon kuormitettavuus

Johdon kuormitettavuutta määritettäessä on huomioitava johtimen materiaali, asennus- tapa, ympäristön lämpötila, eristysmateriaali ja muiden virtapiirien läheisyys. Johdon kuormitettavuus on riippuvainen sen kyvystä luovuttaa virran aiheuttamaa lämpöä ympäristöönsä. [3, s.216]

Johdon kuormitettavuus tulee valita siten, että suurin jatkuva virta, jolla johdinta kuormitetaan, ei ylitä taulukossa 3.1 esitettyjä eristysaineiden lämpötilan raja-arvoja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että johtimen kuormitettavuus tulee mitoittaa standar- dissä SFS 6000-5-52 esitettyjen kuormitustaulukoiden avulla. Kuormitustaulukoiden avulla saadaan kerroin kuormitettavuudelle, jolla voidaan korjata johtimen alkuperäinen kuormitettavuus kertomalla tämä kuormitettavuuskertoimella. [3, s.216]

Taulukko 3.1. *Eristysaineiden suurimmat sallittu käyttölämpötilat. [7, s. 12]*

Eristeen laji	Lämpötilan raja-arvo ^{a, d} °C
Termoplastinen (Polyvinyylikloridi PVC)	70 johtimessa
Silloitettu polyeteeni (PEX) ja eteenipropreenikumi (EPR)	90 johtimessa ^{b, *}
Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa)	70 vaipassa
Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa eikä kosketuksissa palaviin materiaaleihin)	105 vaipassa ^{b, c}

3.1.2 Jännitteenalenema johdossa

Standardin SFS 6000 mukaan suositellaan, että suhteellisen jännitteenaleneman tulisi olla alle 4 % sähkölaitteiston liittymiskohdan, eli keskuksen kiskon ja sähkölaitteen välillä. Moottoria käynnistäessä sallitaan hetkellisesti suurempi jännitteenalenema. Tällöin suhteellisen jännitteenaleneman tulisi olla alle 10 %. Jännitteen alenema voidaan laskea seuraavilla kaavoilla:

Tasajännitteellä:

$$\Delta U = I * 2 * r * l \quad (1)$$

Yksivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I * 2 * l * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (2)$$

Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (3)$$

Kaavoissa käytetään induktiivisen kuorman tapauksessa plusmerkkiä ja kapasitiivisen kuorman tapauksessa miinusmerkkiä.

Suhteellinen jännitteenalenema saadaan kaavalla:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 \% \quad (4)$$

Kaavoissa 1-4 ΔU on jännitteenalenema voltteina (V), I on kuormitusvirta (A), l on johdon pituus (m), r on ominaisresistanssi (Ω/m), x on ominaisreaktanssi (Ω/m), U_n on nimellisjännite, φ on jännitteen ja virran välinen vaihekulma ja Δu on suhteellinen jännitteenalenema. [3, s. 233-234]

3.2 Suojalaitteiden mitoitus

Suojalaitteiden mitoituksessa on huomioitava vikasuojaus ja ylivirtasuojaus. Vikasuojauksen tarkoituksena on suojata ihmisiä ja kotieläimiä vian sattuessa, kun taas ylivirtasuojauksen tarkoituksena on suojata johtoja ja laitteita mekaanisilta vaurioilta tai estää mahdollinen tulipalo. Ylivirtasuojaus jaetaan ylikuormitussuojaukseen ja oikosulkusuojaukseen.

Lisäksi on huomioitava mitoituksessa suojalaitteiden selektiivisyys, eli vikatilanteesta aiheutuvan haitan rajaaminen mahdollisimman pienelle alueelle. Suojalaitteiden

selektiivisyyttä voidaan tarkastella niiden toiminta-aika käyriä vertailemalla. Näin varmistetaan, että kuormaa syöttävän puolen lähin suojalaite laukeaa ensimmäisenä kuorman puolella tapahtuvan vian seurauksena.

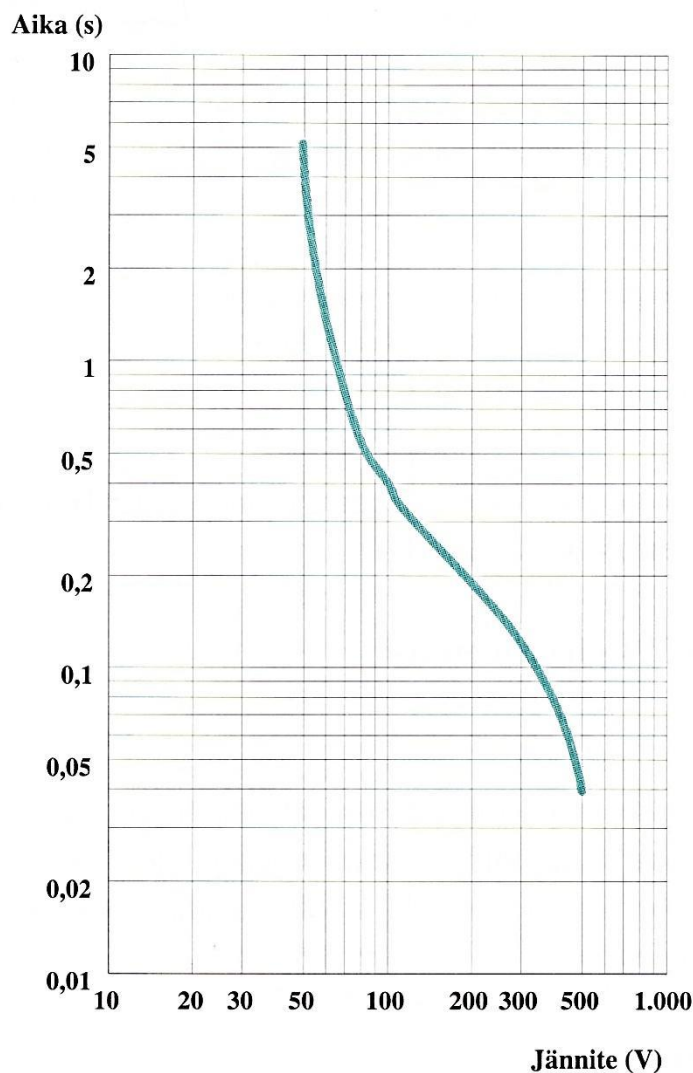
3.2.1 Vikasuojaus

Vikasuojauksen tarkoitus on suojata ihmiset ja kotieläimet niiltä vaaroilta, joita voi syntyä kosketettaessa jännitteelle altista osaa vian aikana. Vikasuojaus voidaan toteuttaa estämällä vikavirran kulku ihmisen tai kotieläimen kautta tai rajoittamalla ihmisen tai kotieläimen läpi kulkevan vikavirran suuruus vaarattomaan arvoon tai kesto aika vaaratoman lyhyeksi. [5, s.6]

Käytetyn vikasuojausmenetelmä on syötön automaattisella poiskytkennällä toteutettu suojaus. Suojausmenetelmän on tarkoitus estää ihmistä tai kotieläintä joutumasta kosketuksiin eristysviasta johtuvan vaarallisen kosketusjännitteen kanssa niin pitkäksi ajaksi, että tästä aiheutuisi vaaraa. Suojauksen on katkaistava eristysvian seurauksena syntynyt vikavirta ja poistettava muodostunut kosketusjännite niin nopeasti, ettei näistä aiheudu vaaraa ihmiselle. Tähän tarvitaan suunniteltu vikavirtapiiri ja sopiva suojalaite. Vikasuojaus voidaan toteuttaa myös käyttäen suojaeristystä, eristävää ympäristöä, paikallista maasta erotettua potentiaalintasausta tai sähköistä erotusta. [3, s. 84–85, 110–111]

Vikavirtapiirin rakenne riippuu käytetystä maadoitusjärjestelmästä. Erilaisia maadoitusjärjestelmiä ovat TN-, TT- ja IT-järjestelmät. Vikavirtapiirin läpi täytyy muodostaa vikavirralle yhteys. Tämä toteutetaan yhdistämällä kaikki asennuksen sähkölaitteiden jännitteelle alttiit osat suojajohtimilla maadoitusjärjestelmään. [3, s. 84–85]

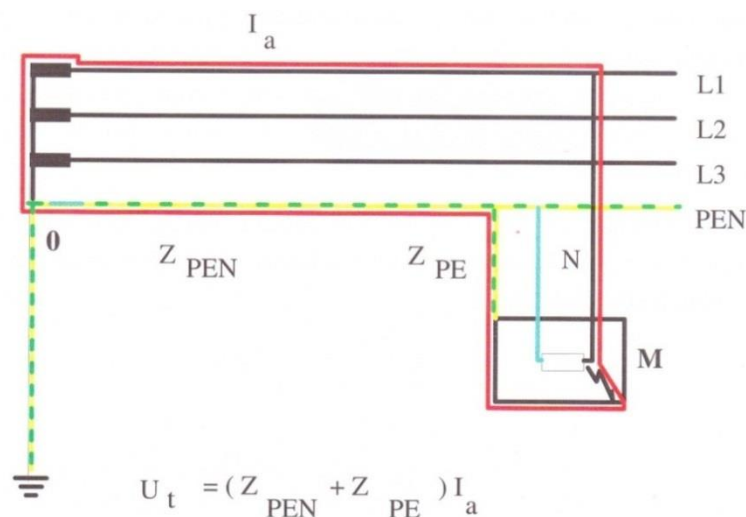
Vikavirta ja kosketusjännite on myös kytkettävä pois sopivalla suojalaitteella. Suojalaitteena toimii yleensä joko sulake tai johdonsuojakatkaisija. Vaadittu poiskytkentäaika riippuu useasta tekijästä, kuten kosketusjännitteestä, jonka alaiseksi henkilö saattaisi joutua, vian todennäköisyydestä ja laitteen koskettamisen todennäköisyydestä vian aikana. Sallitut kestoajat eri kosketusjännitteillä perustuvat tutkimuksiin sähköön vaikutuksesta ihmiseen. Kuvassa 3.1. on esitetty kosketusjännitteen sallitut vaikutusajat. [3, s. 85]



Kuva 3.1. Kosketusjännitteen sallitut vaikutusajat. [3, s. 85]

Syötön automaattinen poiskytkentä TN-järjestelmässä

TN-järjestelmän vikavirtapiirin muodostaa kuvan 3.2. piiri. Kuvan suojajohdin on joko PE- tai PEN-johdin riippuen siitä onko kyseessä TN-S- vai TN-C-järjestelmä. Suurin kosketusjännite muodostuu jännitteelle alttiin osan M ja pisteen 0 välille. Kokemus on kuitenkin osoittanut, että suurinta kosketusjännitettä on käytännössä vaikeaa arvioida. Ei ole myöskään mahdollista varmistua siitä, että muissa ryhmäjohtoissa tai jakelupiireissä tapahtuva vika ei nostaisi ryhmäjohtotasolla potentiaalia liian suureksi. [3, s. 86–89]



Kuva 3.2. Suojausperiaate TN-järjestelmässä. Vaihejohtimen ja osan M välisessä viassa syntyy vikavirta I_a vikavirtapiiriin. [3, s. 86]

Suojausta koskevien vaatimusten soveltamisen helpottamiseksi on määritetty poiskytkentäajat asennuksen nimellisjännitteestä eikä suurimmasta kosketusjännitteestä riippuvina. Näiden kahden suhdetta voidaan arvioida kaavan 3 avulla

$$U_t = R_{PE} * I_a = c * U_V * \frac{m}{1+m}, \quad (5)$$

jossa U_t on kosketusjännite, R_{PE} on suojajohtimen resistanssi referenssipisteestä jännitteelle alttiiseen osaan, I_a on vikavirta, c on sovittu kerroin, joka ottaa huomioon vikavirtapiiriin jännitelähteen impedanssin osuuden kokonaisimpedanssista, U_V on asennuksen vaihejännite ja m on tarkasteltavan piirin suojajohtimen ja vaihejohtimen resistanssien suhde eli samojen johtimien tapauksessa poikkipinta-alojen suhde. [3, s. 86–89]

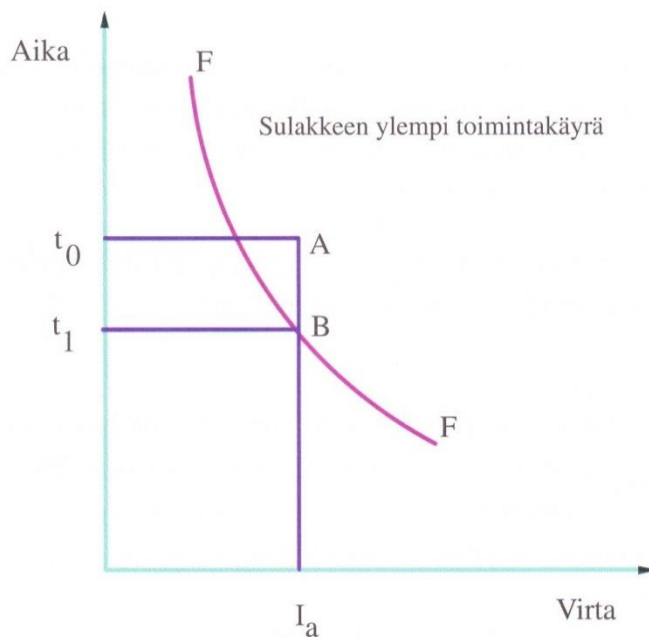
Kaavassa 5 eri tekijät voivat vaihdella seuraavasti; kerroin c voi vaihdella 0,6 – 1,0 välillä, kerroin m voi vaihdella 1 – 3 välillä ja U_0 voi vaihdella standardin IEC 60038 mukaan $\pm 10\%$ välillä. Näistä tiedoista saadaan selville, että U_t voi olla välillä $0,3U_0$ – $0,75U_0$. [3, s. 89]

Käytännössä vaadittavat poiskytkentäajat vikasuojaukselle on otettava huomioon vain käytettäessä sulaketta suojalaitteena. Tällöin vikavirran on oltava tarpeeksi suuri, jotta suojaus toimisi vaaditussa ajassa. Vaaditut ajat on lueteltu SFS 6000 standardin taulukossa 41.1 (taulukko 3.2). Kuva 3.3. esittää periaatteellista kuvaa sulakkeen toiminnasta. Piste A vastaa taukukossa 8 määritettyä aikaa t_0 , jonka tulee olla suurempi kuin sulakkeen toiminta-ajan t_1 eli toisin sanoen pisteen A tulee sijoittua FF-käyrän yläpuolelle. [3, s. 90]

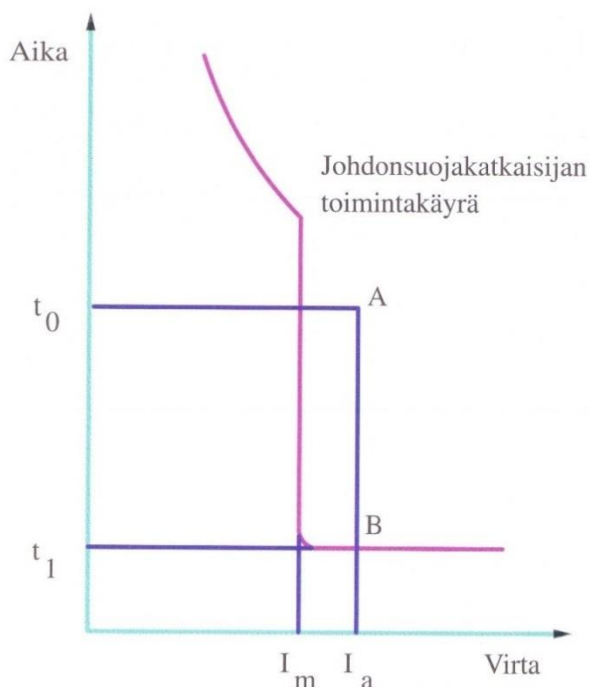
Taulukko 3.2. Suurimmat sallitut poiskytkentäajat sekunteina. [8 s.7]

Järjestelmä	$50V < U_0 \leq 120V$		$120V < U_0 \leq 230V$		$230V < U_0 \leq 400V$		$U_0 > 400V$	
	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.
TN	0,8	*	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	*	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

(*) Poiskytkentää voidaan tarvita muusta syystä kuin sähköiskulta suojaamiseen.

**Kuva 3.3.** Sulakkeen toimintakäyrä. [3, s. 90]

Johdonsuojakatkaisijan tapauksessa varmistetaan, että pienin vikavirta I_a on vähintään niin suuri, että se saa aikaan johdonsuojakatkaisijan pikalaukaisun. Pikalaukaisun toiminta-aika on yleensä pienempi kuin SFS 6000 standardin taulukon 41.1 vaadittu aika (taulukko 3.2). Kuva 3.4. esittää periaatteellista kuvaa johdonsuojakatkaisijan toiminnasta. [3, s. 90–91]



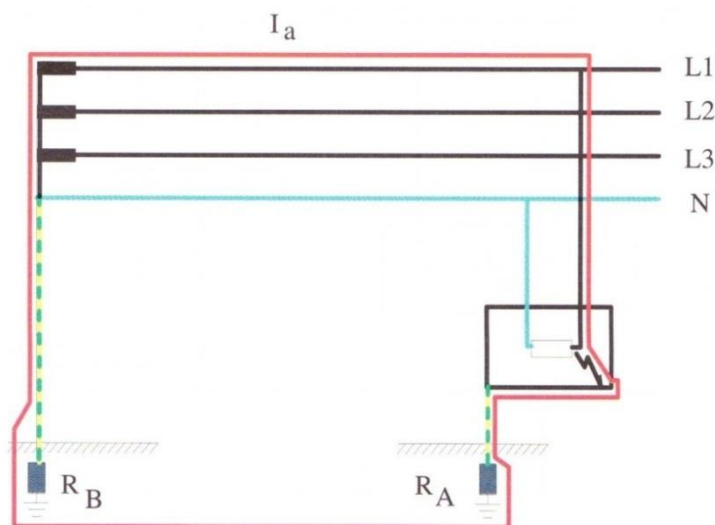
Kuva 3.4. Johdonsuojakatkaisijan toimintakäyrä. [4, s. 89]

Edellä mainitut vaatimukset koskevat ryhmäjohtoja, joiden suojalaitteina käytetään enintään 32 A ylivirtasuojia. Pääjohdoille ja yli 32 A ylivirtasuojilla suojatuille johdoille on myös määritetty vaaditut poiskytkentäajat, jonka aikana suojalaitteen tulee toimia. Vaadittu poiskytkentäaika näissä tapauksissa on joko 0,4 s tai 5 s riippuen tilanteesta. [3, s. 91]

Syötön automaattinen poiskytkentä TT-järjestelmässä

TT-järjestelmässä vikasuojauksen toteuttaminen syötön automaattisella poiskytkennällä on huomattavasti haastavampaa kuin TN-järjestelmässä. Tämä johtuu siitä, että sallitut poiskytkentäajat ovat lyhyempiä kuin TN-järjestelmässä ja lisäksi vikavirrat jäävät usein niin pieniksi, etteivät ylivirtasuojat havaitse niitä riittävän nopeasti. TT-järjestelmiä ei juuri käytetä Suomessa, koska paikoitellen maaperän johtavuus voi olla Suomessa hyvin heikko. TT-järjestelmät ovat kuitenkin yleisiä Keski- ja Etelä-Euroopassa, jossa maaperän johtavuus on keskimäärin suurempi kuin Suomessa. [3, s. 104]

TT-järjestelmän vikavirtapiirin muodostavat vianalainen jännitteellinen johdin, suojajohdin, kaksi maadoituselektrodia sekä maadoituselektrodien välinen maaperä. Suojajohdin yhdistää jännitteelle alttiit osat maadoituselektrodiin, joka yhdistää jännitteelle alttiit osat maahan. Toinen maadoituselektrodi puolestaan yhdistää järjestelmän tähtipisteen maahan. TT-järjestelmässä voi olla useita erillisiä maadoituselektrodeja, joihin järjestelmän eri osien jännitteelle alttiit osat yhdistetään. Kuva 3.5. esittää TT-järjestelmän vikavirtapiirin. [3, s. 105]

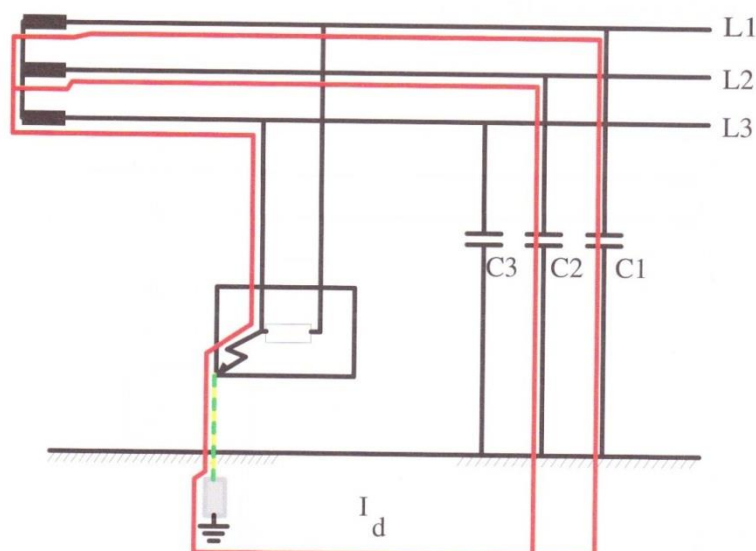


Kuva 3.5. Vikavirtapiiri TT-järjestelmässä. [3, s. 105]

Syötön automaattinen poiskytkentä IT-järjestelmässä

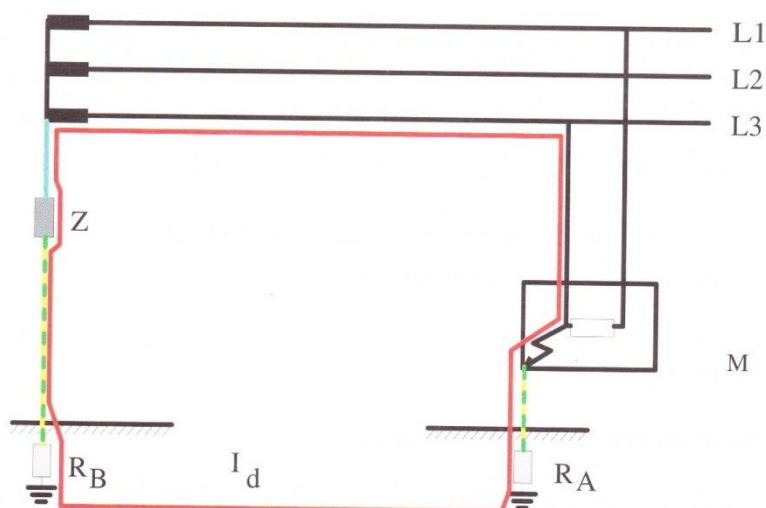
IT-järjestelmässä ei ensimmäisen eristysvian aikana pääse esiintymään vaarallisia kosketusjännitteitä. Tämän seurauksena ei ensimmäisen vian aikana tarvitse syöttöä kytkeä nopeasti pois, vaan asennuksen käyttöä voidaan jatkaa. Ensimmäinen vika tulee kuitenkin havaita. Mikäli toinen vika ilmenee ennen ensimmäisen vian poistoa, toimii IT-järjestelmä kuten TN- tai TT-järjestelmä, ja järjestelmän edut menetetään. Tämän takia onkin oleellista, että vika paikallistetaan ja poistetaan niin pian kuin mahdollista. [3, s. 105]

Maasta erotetussa IT-järjestelmässä vikavirta määräytyy kahden muun vaiheen maakapasitanssien mukaan kuvan 3.6. mukaan. Kuvassa 3.6. vikavirta kulkee vaiheesta L3 muiden vaiheiden L1 ja L2 maakapasitanssien kautta. Tällöin vian aikana järjestelmän tähtipiste siirtyy, jolloin vikaantunut vaihe toimii järjestelmän tähtipisteinä ja terveissä vaiheissa esiintyy järjestelmän pääjännitteen suuruinen jännite. [3, s. 105–106]



Kuva 3.6. Vikavirtapiiri maasta erotetussa IT-järjestelmässä. [3, s. 106]

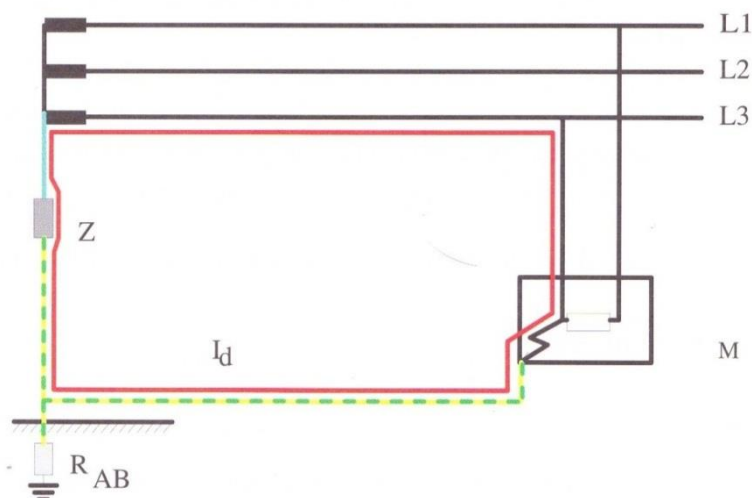
Impedanssin kautta maahan yhdistetyssä IT-järjestelmässä, jossa järjestelmän tähtipiste ja vikapaikka on yhdistetty erillisillä maadoituselektrodeilla, vikavirtaa rajoittaa näiden kahden maadoituselektrodin resistanssien summa ja kuvan 3.7. impedanssi Z . Tällöin kosketusjännite U_t jää niin matalaksi jännitteelle alttiissa osassa M, ettei vikaa tarvitse kytkeä ensimmäisen vian aikana pois. Kuvassa 3.7. on esitetty kyseisen IT-järjestelmän vikavirtapiiri. [3, s. 107]



Kuva 3.7. Vikavirtapiiri impedanssin kautta maahan yhdistetyssä IT-järjestelmässä, jossa järjestelmän tähtipiste ja vikapaikka on yhdistetty erillisillä maadoituselektrodeilla. [3, s. 106]

Impedanssin kautta maahan yhdistetyssä IT-järjestelmässä, jossa järjestelmän tähtipiste ja vikapaikka on yhdistetty yhteisellä maadoituselektrodilla, vikavirran suuruuden määrää käytännössä impedanssi Z , jonka kautta järjestelmä on yhdistetty maahan.

Useimmiten kahden muun vaiheen maakapasitanssit edustavat huomattavasti suurempaa impedanssia. Kuvassa 3.8. on esitetty kyseisen IT-järjestelmän vikavirtapiiri. [3, s. 107]



Kuva 3.8. Vikavirtapiiri impedanssin kautta maahan yhdistetyssä IT-järjestelmässä, jossa järjestelmän tähtipiste ja vikapaikka on yhdistetty yhteiseen maadoituselektrodiin. [3, s. 107]

Asennus yhdistetään maahan impedanssin kautta erityisesti silloin, jos on odotettavissa ylijännitteitä ja jännitteiden vaihtelua asennuksessa resonanssin takia. Impedanssi Z valitaan niin, että resonanssivaihtelut saadaan vältettyä ja vikavirta havaittua. Yleensä Z on ohmimäärältään n. 5–6-kertainen asennuksen nimelliseen vaihejännitteen voltteihin verrattuna. [3, s. 107]

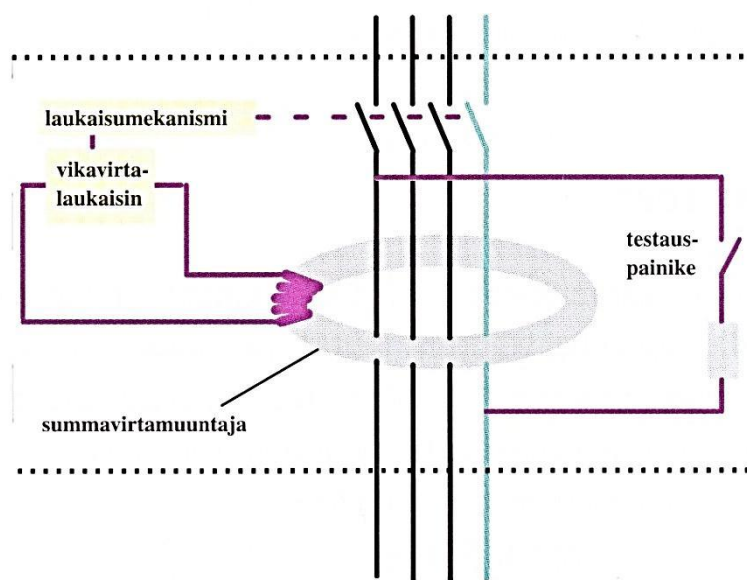
IT-järjestelmissä ei suositella nollajohtimen käyttöä, koska se poistaa edut, jotka on saatu, kun nollapistettä ei olla yhdistetty maahan. Jos järjestelmässä on nollajohdin, jota ei ole yhdistetty maahan, niin tapauksissa, joissa saman asennuksen poikkipinnaltaan erikokoisissa virtapiireissä esiintyy kaksi vikaa, on estettävä tilanne, jossa poikkipinnaltaan pienempi nollajohdin joutuisi siirtämään kuormitettavuuttaan suuremman virran. Lisäksi laitteet eivät saa joutua alttiiksi nimellisjännitettään suuremmille jännitteille. Kuvissa ei ole esitetty nollajohtimellista IT-järjestelmää. [3, s. 107–108]

Toisen vian sattuessa eri vaiheeseen kuin ensimmäinen vika järjestelmään muodostuu kaksoismaasulkuvirta. Kaksoismaasulun laukaisuehdot riippuvat siitä, onko kyseessä kuvien 3.6.–3.8 mukainen järjestelmä. Kuvan 3.7. tapaus vastaa toisen vian aikana TT-järjestelmää ja kuvan 3.8 tapaus vastaa toisen vian aikana TN-järjestelmää. [3, s. 108]

Lisäsuojaus vikavirtasuojalla

Aina perinteiset perussuojausmenetelmät eivät riitä suojaamaan sähköiskulta. Tämä voi johtua esimerkiksi puutteellisesta huollosta, eristeiden heikentymisestä tai sähkölaitteen käyttäjän huolimattomuudesta. Tämän takia vaaditaan lisäsuojana vikavirtasuojaa pienentämään sähköiskun vaaraa tietyissä piireissä ja erityistiloissa. [3, s. 113]

Kuva 3.9. esittää vikavirtasuojan periaatteellisen rakenteen. Vikavirtasuojan toiminta perustuu muuhun vikavirtaan kuin äärijohtimen ylivirtaan. Vikavirtasuoja voi toimia esimerkiksi äärijohtimien ja nollajohtimien summavirran vaikutuksesta, kuten kuvan 3.9. tapauksessa tai suojajohtimen virran vaikutuksesta. Kuvan 3.9. summavirtamuuntaja mittaa vaihe- ja nollajohtimien virran summaa. Mikäli summavirta on yli vikavirtasuojakytkimen toiminta-arvon, avaa kytkin virtapiirin hyvin nopeasti. [3, s. 244]



Kuva 3.9. Vikavirtasuojan rakenne. [3, s. 244]

Yleensä vikavirtasuoja ei tarvitse apujännitettä toimiakseen, vaan laukaisu tapahtuu jousivoiman avulla. Laukaisin muodostuu kestopagneetista, joka normaalitilassa on pitoasennossa. Jos summavirtamuuntajan käämiin indusoituu vikavirta, niin magneettivuo ei enää kuljekaakaan ankkurin kautta, jolloin laukaisin pääsee liikkumaan ja jousi avaa kytkimen. [3, s. 244]

Standardissa 6000-4-41 vaaditaan mitoitusvirraltaan enintään 30 mA vikavirtasuojaa käytettäväksi suojaamaan mitoitusvirraltaan enintään 20 A pistorasioita tai suojaamaan ulkona käytettävää, mitoitusvirraltaan enintään 32 A pistorasiaa tai siirrettävää laitetta. Poikkeuksena tähän määräykseen on pistorasiat, joilla on tarkoitus käyttää vain erityistä määrättyä laitetta tai pistorasiat, joita käytetään ammattihenkilön tai opastetun henkilön valvomana teollisissa tai kaupallisissa rakennuksissa. [8 s.7-8]

3.2.2 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojauksen tehtävänä on estää johtojen ylikuormittuminen estämällä liian suuren kuormituksen kytkemisen johdon syöttämään ryhmään. Ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa katkaisijoilla, johdonsuojakatkaisijoilla tai sulakkeilla yhdellä tai useammalla suojalaitteella. Ylikuormitussuojien ja johtimien kuormitettavuuden tulee täyttää seuraavat epäyhtälöt 6 ja 7 [9 s.6]:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (6)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_Z \quad (7)$$

jossa I_B on virtapiirin mitoitusvirta, I_N on suojalaitteen mitoitusvirta, I_Z on johtimen jatkuva kuormitettavuus ja I_2 virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa.

Ylikuormitussuojauksen mitoittamista varten tarvitaan lähtötietona arvio kuormituksen olevasta tehosta, johdon asennusolosuhteista ja – tavoista sekä asennuspaikan oikosulkuvirtatieto.

3.2.3 Oikosulkusuojaus

Sähköverkon oikosulkusuojaus sijoitetaan yleensä sellaiseen verkon pisteeseen, jossa johtimen poikkipinta-ala pienenee tai ominaisuudet muutoin muuttuvat. Suojalaitteen mitoituskatkaisukyvyyn tulee olla vähintään asennuspaikan prospektiivisen oikosulkuvirran suuruinen, ellei suojalaitteen syöttöpuolella ole riittävää katkaisukykyä omaavaa suojalaitetta. Tällöin suojalaitteiden ominaisuudet on mitoittettava siten, ettei suojalaitteiden läpi kulkeva energia ylitä arvoa, jonka kuormituspuolen suojalaite ja suojattavat johtimet vahingoittumatta kestävä. [9, s.9]

Oikosulkuvirrat on katkaistava viimeistään ajassa, jossa johtimet saavuttavat suurimman sallitun rajalämpötilan. Tämä tarkoittaa sitä, että enintään 5 s kestävässä oikosuluissa saadaan seuraavalla kaavalla 8 laskettua aika, jonka kuluessa johdin saavuttaa suurimman sallitun rajalämpötilansa, kun johtimen oletetaan olevan suurimmassa sallitussa normaalissa käyttölämpötilassa ennen oikosulkua [9, s.10]:

$$t = \left(k * \frac{S}{I} \right)^2 \quad (8)$$

jossa t on kesto aika sekunteina, S on johtimen poikkipinta neliömillimetreinä, I on oikosulkuvirta (A) tehollisarvona (r.m.s.) ja k on kerroin, joka ottaa huomioon johdinmateriaalin resistiivisyyden, lämpötilakertoimen ja lämmönvarauskyvyn sekä sopivat alkua ja loppulämpötilat. Äärijohtimien kertoimen k arvot normaalisti käytetyille eristemateriaaleille on annettu taulukossa 2. [9, s.10]

Taulukko 3.3. Kertoimen k arvot äärijohtimille [9, s. 10]

Omninaisuus/ olosuhde	Johtimen eristys						
	PVC Kestomuovi		PVC Kestomuovi 90 °C		EPR PEX Kertamu	Kumi 60 °C	Mineraali
							PVC Päällystämätön
							Paljas Päällystetty
Johtimen poikkipinta-ala (mm ²)	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300			
Alkulämpötila (°C)	70		90		90	60	70
Loppulämpötila (°C)	160	140	160	140	250	200	160
Johtimen materiaali:							
Kupari	115	103	100	86	143	141	115
Alumiini	76	68	66	57	94	93	-
Kuparijohtimien tinajuotetut liitokset	115	-	-	-	-	-	-
* Tätä arvoa pitää käyttää kosketeltavissa oleville paljaille johtimille.							

Oikosulkuvirrat tulee usein määrittää suurimman kolmivaiheisen ja pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran osalta. Suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta määritetään mahdollisimman läheltä suojattavaa laitetta ja se voidaan laskea seuraavalla kaavalla 9 [10]:

$$I_{k''} = \frac{d \cdot U}{\sqrt{3} (Z_L + Z_M)} \quad (9)$$

Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta määritetään johdon loppupäästä lähellä kuormaa kaavalla 10 [10]:

$$I_{k1} = \frac{d \cdot U}{\sqrt{3} (Z_L + Z_M + Z_{PE})} \quad (10)$$

kaavoissa 9 ja 10 d on jännitekerroin, jolla määritetään kaavojen suurin ja pienin oikosulkuvirta. Kertoimina voidaan esimerkiksi käyttää 1,1 kun kyseessä on suurin oikosulkuvirta ja 0,95 pienimmän oikosulkuvirran tapauksessa, mutta oikean kertoimen valinta jää laskijan päätettäväksi. Muut suureet ovat: U pääjännite (V), Z_L vaihejohtimen impedanssi (Ω), Z_M muuntajan impedanssi (Ω) ja Z_{PE} PE-johtimen impedanssi (Ω). [10]

Pienimmän oikosulkuvirran arvo voidaan määrittää myös verkon nollakomponentteja apuna käyttämällä seuraavalla kaavalla 11, jos tarvittavat muuntajan ja verkon tiedot tiedetään [1, s. 201]:

$$I_{k1_min} = \frac{3 \cdot U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3l(r_j + r_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + l(2x_j + x_{j0} + 3x_0))^2}} \quad (11)$$

jossa U_v on vaihejännite, r_j on vaihejohtimen resistanssi, R_m on muuntajan oikosulku-resistanssi, x_j on vaihejohtimen reaktanssi, X_m on muuntajan oikosulkuresistanssi, x_{j0} on vaihejohtimen nollareaktanssi, R_{m0} on muuntajan nollaresistanssi, r_0 on nollajohtimen resistanssi, X_{m0} on muuntajan nollareaktanssi, x_0 on nollajohtimen reaktanssi ja l on johdon pituus. Osa mitoitus- ja laskentaohjelmista vaativat nollakomponenttien tietojen syöttämistä, jotta pienin vikavirta saadaan määritettyä. Kun tiedetään pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta, voidaan sulakkeen toiminta-aika määrittää toiminta-aika käyrästä [1, s. 201-202]

Muita oleellisia arvoja sähkölaitteiston mitoittamisen kannalta, jotka kannattaa huomioida, ovat sysäysoikosulkuvirta i_p sekä ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta I_{th} . Sysäysoikosulkuvirta i_p kertoo suurimman mahdollisen oikosulun virran huippuarvon ja se voidaan määrittää kaavalla 12 [11]:

$$i_p = \kappa \sqrt{2} I_{kr} \quad (12)$$

jossa κ on oikosulkuvirran sysäyskerroin, joka huomioi tasavirta komponentin vaikutuksen sysäysoikosulkuvirran suuruuteen. κ voidaan määrittää seuraavalla kaavalla 13 [11]:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 e^{\frac{-3R}{X}} \quad (13)$$

jossa R on oikosulkupiirin resistanssi ja X oikosulkupiirin reaktanssi. Mitoittamisen kannalta oleellista on, että laitteen dynaamisen kestovirran I_{dyn} tulee olla yhtä suuri tai suurempi kuin sysäysoikosulkuvirran i_p . Ekvivalenttinen oikosulkuvirta I_{th} saadaan puolestaan seuraavalla yhtälöllä 14 [11]:

$$I_{th} = I_{kr} \sqrt{m + n} \quad (14)$$

jossa m on oikosulkuvirran tasakomponentin ja n vaihtokomponentin lämpövaikutuksen huomioiva kerroin. Laitteiden termisen oikosulkuvirtakestoisuuden I_{thr} tulee olla yhtä suuri tai suurempi kuin ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirran. Näistä suureista saadaan laitteiden ja asennusten vaatimukseksi seuraavat epäyhtälöt 15 ja 16 [11]:

$$I_{dyn} \geq I_p \quad (15)$$

$$I_{thr} \geq I_{th} \sqrt{\frac{T_k}{T_{kr}}} \quad (16)$$

jossa T_k on oikosulkuvirran kesto aika ja T_{kr} laitteen nimellistä termistä oikosulkukestoisuutta vastaava vika-aika. [11]

Alle 0,1 s kestävässä oikosuluissa virran epäsymmetrialla on merkitystä, ja tällöin on virtaa rajoittavilla laitteilla arvon $k^2 S^2$ oltava suurempi kuin läpi kulkevan energian $I^2 t$, jonka valmistaja on ilmoittanut suojalaitteelle. [9, s. 9]

3.2.4 Ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksen yhteensovittaminen

Mikäli ylivirtasuojana käytetään sulaketta, joka mitoitetaan ylikuormitussuojaksi ja sillä on riittävän suuri katkaisukyky, soveltuu se myös oikosulkusuojaksi. Tilanteessa, jossa ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus toteutetaan erillisillä suojalaitteilla, tulee suojat valita siten, että oikosulkusuojan läpi kulkeva energia ($I^2 t$) ei ylitä sitä energian arvoa, jonka ylikuormitussuoja kestää vaurioitumatta.

Moottorin suojauksessa hyväksytään kuitenkin seuraavat poikkeukset, jotka on esitetty standardissa SFS-EN-60947-4-1:

- Tyypin 1: Oikosulkutilanteessa ylikuormitussuoja tai kontaktori saa vaurioitua. Suojalaitteen vaurioitumisesta on saatava indikaatio eikä moottoria saa voida käyttää ennen suojalaitteen korjaamista.
- Tyypin 2: Oikosulkutilanteessa suojalaitteiden on oltava käyttökelpoisia uudelleen.

Kummassakaan tapauksessa ei henkilölle eikä asennukselle saa aiheutua vaaraa tai vahinkoa. [3, s. 145] [12, s.48]

4 PIENJÄNNITEVERKON MITOITUSOHJELMAT

Markkinoilla on mitoitusohjelmia tarjolla todella paljon. Osa ohjelmista on suunniteltu pelkästään pien-, keski- tai suurjänniteverkkojen laskentaan, kun taas osa esimerkiksi pelkästään nopeiden transienttien ja tarkkojen millisekunteja kestävien ilmiöiden simulointiin. Jotkin ohjelmat yrittävät puolestaan kattaa kaikenlaisten verkkojen ja tilanteiden laskennan. Laajasta kirjosta ja eri kokonaisuuksiin keskittyvien ohjelmien joukosta voi olla haastavaa valita sopiva työkalu kuhunkin laskentaan, ja osa ohjelmista selviää tietäntyyppisestä laskennasta paremmin kuin toiset. Oikean työkalun valinta onkin oleellinen osa mitoittajan työtä mitoittaessa sähköverkkoa.

4.1 Vertailuun valitut laskentaohjelmat

Tähän diplomityöhön valittiin vertailtaviksi laskentaohjelmiksi OLS-Consult ohjelmat, ABB Doc 2.0, Schneider Ecodial ja NePlan, joissa on kattavat työkalut pienjänniteverkon laskentaan ja mitoittamiseen. OLS-Consult ohjelmat ovat Pöyryn Tampereen Local Project Services-yksikön pääsääntöisesti käyttämä kaupallinen verkostolaskentaohjelma pienjänniteverkon laskentaan. ABB Doc 2.0 ja Schneider Ecodial ovat puolestaan ilmaisohjelmia, joiden käyttömahdollisuuksien kartoittaminen teollisuuden projekteissa on oleellinen osa tätä diplomityötä. NePlan puolestaan on verkostolaskentaohjelmisto, jossa on laajat työkalut erilaisten ilmiöiden tutkimiseen, mutta joka ei itsessään sisällä mitoitus-toimintoja. Lisäksi työssä kartoitetaan lyhyesti myös muita markkinoilla olevia laskentaohjelmia pienjänniteverkon laskentaan. Ohjelmien toiminnoissa ja ominaisuuksissa keskitytään teollisuuden pienjänniteverkon verkostolaskentaan.

4.1.1 OLS-Consult ohjelmat

OLS-Consult Oy:n laskentaohjelmat ovat Pöyryn pääsääntöisesti käyttämä kaupallinen verkostolaskentaohjelma pienjänniteverkon laskentaan. Laskenta perustuu Microsoft Excel taulukkopohjiin, joilla käsitellään erilaisia laskentatilanteita. Työn laskennan aikana OLS-Consult ohjelmapaketti sisälsi taulukon 4.1 sisältämät ohjelmat, joista käytettiin uusimpia ohjelmaversioita, jotka on lueteltu taulukossa 4.1. Mitoitus-ohjelma ei sisällynyt Pöyryn ohjelmapakettiin.

Taulukko 4.1. *OLS-Consult-ohjelmat ja niiden käyttötarkoitukset sekä käytetyt ohjelmaversiot. [13]*

Ohjelma	Versio	Käyttötarkoitus
Akku	1.01.07	Ohjelmalla mitoitetaan akuilla syötettyjä verkkoja.
Generaattori vikavirrat	1.0.8	Ohjelmalla lasketaan generaattorin syöttämän pienjänniteverkon oikosulkuvirtoja.
Johtojen terminen oikosulkukestoisuus	1.0.6	Ohjelmalla lasketaan erilaisten johtimien lyhytaikainen virtakestoisuus.
Johtojen kuormitettavuus	1.0.17	Ohjelmalla haetaan johdolle sallittu kuormitusvirta I _z eri asennusolosuhteissa sekä vaihtelevalla kuormalla.
Koordinaatio	1.0.1	Ohjelmalla tarkastetaan pienjänniteverkon moottorilähdön kojeiden (sulake - kontaktori - ylikuormitus-suoja - kaapeli) välistä koordinaatiota.
Mitoitus		Mitoitus ohjelma on sähkösuunnittelijan ja sähköurakoitsijan työkalu sähköverkon mitoitukseen.
Moottorin U-alenema	1.1.4	Ohjelmalla lasketaan moottorin käynnistyksessä syntyvä jännitteen alenemaa.
Pituus	1.3.1	Ohjelmalla tarkistetaan laukaisuehtojen (SFS6000: Kosketusjännitesuojaus syötön automaattisen poiskytkennän avulla) täyttymistä.
Selektiivisyys	1.1.27	Ohjelmalla voidaan piirtää 17 kpl erilaisia sähkötekniisiä käyriä samalle log-log kaaviopohjalle.
Sulake johdon ylikuormitussuojana	1.7	Sulake ylikuormitussuojana ohjelmalla voidaan laskea erilaisia suureita liittyen SFS 6000 B52-1 taulukon määrittelemään johdon minimikuormitukseen kun sulake toimii sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojana.
U-alenema	1.1.1	Ohjelmalla lasketaan johdon ja lamppupiirin jännitteen alenemaa.
UPS-selektiivisyys	1.0.6	Ohjelman ja käyttöoppaan avulla voidaan mitoittaa UPS-verkko. Mitoitukseen tarvitaan myös osaa edellä mainituista ohjelmista.
Vikavirrat	1.0.18	Ohjelmalla lasketaan säteittäisen pienjänniteverkon oikosulkuvirtoja.
VM-pituus	1.1.14	Ohjelmalla tarkistetaan laukaisuehtojen (SFS6000 poiskytkentäehtojen) täyttymistä.

Oleellisimmat toiminnot pienjänniteverkon mitoittamisen kannalta ovat *vikavirrat*- ja *pituus*-ohjelmat, joilla voi toteuttaa yleisimmät mitoittamiseen liittyvät tarkastelut. Muiden ohjelmien käyttö voi kuitenkin tulla tarpeeseen teollisuusverkoissa, joissa generaattorit ja UPS-laitteistot ovat hyvin yleisiä erilaisten prosessien ylläpitämiseksi varavoimana sähkökatkosten aikana.

4.1.2 ABB Doc 2.0

ABB Doc 2.0 on ABB Oy:n kehittämä verkostolaskentaohjelma pien- ja keskijänniteverkkojen laskentaan. ABB Doc 2.0 ohjelmasta käytettiin laskentaan versiota 2.0.0.0083, joka oli työn laskennan aikana uusin ohjelmaversio kyseisestä ohjelmasta. Ohjelman pienjännitelaskennalla voidaan mitoittaa tietyn keskuksen eri komponentit ja kaapelit eri lähtöjen osalta sekä dokumentoida saadut tulokset.

Ohjelman laskenta perustuu ohjelman sisälle luotavaan verkkomalliin. Ohjelma sisältää laajan kattauksen eri ABB:n komponentteja, mutta ohjelma sallii myös omien komponenttien luomisen tietyissä rajoissa. Esimerkiksi moottorikuormissa on tarjolla paljon eri ABB:n omia moottoreita, mutta käyttäjä voi myös itse luoda halutunlaisen moottorikuorman syöttämällä ohjelmaan kyseisen lähdön tiedot käsin.

ABB Doc 2.0:ssa käyttäjä voi valita pienjännite- ja keskijännitelaskennan väliltä. Nämä kaksi toimintoa on eritelty ohjelmassa eri välilehdille, joiden avulla käyttäjä voi

valita mitä toimintoa ohjelmasta kulloinkin käyttää. Keskijännitelaskennassa voidaan kuvata kokonainen teollisuusverkko, kun taas pienjännitelaskenta perustuu yhden keskuksen mitoittamiseen kerrallaan. Tässä diplomityössä keskitytään vain ohjelman pienjännitelaskentaan.

4.1.3 Schneider Ecodial

Schneider Ecodial on Schneider Electric Oy:n kehittämä verkostolaskentaohjelma pien- ja keskijänniteverkkojen laskentaan. Schneider Ecodial ohjelmasta käytettiin laskentaan versiota 4.6, joka oli työn laskennan aikana uusin ohjelmaversio kyseisestä ohjelmasta. Ohjelmalla voidaan mitoittaa kokonaisen teollisuusverkon eri komponentit ja kaapelit sekä dokumentoida saadut tulokset.

Ohjelman laskenta perustuu ohjelman sisälle luotavaan verkkomalliin, joka on kuitenkin rajoitetumpi kuin ABB Doc 2.0 vastaava. Käyttäjä ei pääse muokkaamaan vapaasti kuormien syöttöjä sijoittamalla esimerkiksi ylimääräisiä suojakytkimiä, vaan on rajoitettu käyttämään valmiita kuormarakenteita moottorisytöille, valaistukselle ja muille kuormatyypeille.

Ohjelma sisältää laajan kattauksen Schneiderin omia komponentteja, kuten ABB Doc 2.0 ohjelma, mutta ei tarjoa aivan yhtä laajoja muokkauksmahdollisuuksia eri suureille verkossa. Moni valinta täytyy tehdä alavetovalikoiden avulla, jolloin vapaata lukuarvoa ei pääse valitsemaan, kuten käyttäjä itse haluaisi. Tästä ei kuitenkaan ole haittaa suurelle osalle käyttäjistä, koska valittavana on laaja kattaus eri arvoja, mutta lievää epätarkkuutta tuloksissa voi ilmetä.

4.1.4 NePlan

NePlan on BCP Switzerlandin kehittämä kaupallinen ohjelma sähkö-, vesi-, kaas- ja kaukolämpöverkon suunnitteluun, analysoimiseen, optimointiin ja simulointiin. Työssä käytettiin NePlan versiota 5.5.3. Ohjelman rakenne on modulaarinen, joten valituista moduuleista voi valita halutut toiminnot ohjelmalle. NePlan 5 sopii erityisesti uusiutuvien energialähteiden ja älyverkkojen simulointiin ja hallintaan. Lisäksi ohjelma on helppo integroida toimimaan yhteen muiden ohjelmien kanssa C/C++ ohjelmointirajapinnan avulla. [14]

NePlanin tarjoamia moduuleja verkkolaskentaan tutkiessa huomataan, että NePlan tarjoaa laajan kattauksen eri laskenta- ja simulointityökaluja teollisuusverkon tarkasteluun. Laskenta kattaa esimerkiksi tehonjako-, oikosulku-, moottorin käynnistys-, selektiivisyys-, valokaari- ja maadoitustarkastelun. Tarjolla on myös laaja valikoima muita moduuleja verkon hallintaan ja jakeluun liittyen. [14]

NePlan moduulipakettitarjonnan erikoisuus on painotus tuulivoiman ja älyverkkojen simulointiin ja laskentaan. Näille kahdelle kokonaisuudelle löytyy erilliset moduulipaketit kaupallisesta pakettivalikoimasta. Laskennan työkalut ovat siis vahvasti suunniteltu tulevaisuuden verkkoja silmälläpitäen. Vastaavia toimintoja ei löydy muista ohjelmatyökaluista, joita tässä työssä on tutkittu. [14]

4.2 Muita verkostolaskentaohjelmia

Markkinoilla on myös paljon laskentaohjelmia, joita ei vertailla tässä työssä. Tähän kappaleeseen on tehty lyhyt kartoitus ohjelmista, jotka kilpailevat vertailuun valittujen ohjelmien kanssa osittain samoilla ominaisuuksilla. Kyseisiä ohjelmia ei myöskään arvostella käytettävyyden kannalta, vaan keskitytään ainoastaan ohjelmien ominaisuuksiin ja toimintojen lyhyeen katsaukseen. Kaikki näistä ohjelmista vaativat maksullisen lisenssin ostamista, jollaista ABB:n ja Schneiderin ohjelmat eivät vaadi. Ohjelmien toimintojen laajuus on laajempi monelta osa-alueelta, joten ohjelmat voivat olla hyödyllisempiä kuin vertailuun valitut ohjelmat, jos kyseisille toiminnoille on tarvetta. Suurin osa lisätoiminnoista ei kuitenkaan ole oleellista pienjänniteverkon mitoituksen kannalta.

4.2.1 Trimble NIS

Trimble NIS on Tekla Oy:n kehittämä verkkotietojärjestelmä energia- ja vesihuoltoyritysten liiketoimintaan. Trimble NIS sisältää verkkomallin, joka tukee sähkö-, kaukolämpö-, vesihuolto- ja kaasuverkkoja. Malliin on mahdollisuus lisätä ulkopuolisia tietoja, kuten asiakastietoja. Trimble NIS koostuu seuraavista modulaarisista toimialasoveluksista [15]:

- Verkkolaskenta
- Verkon suunnittelu ja rakentaminen
- Omaisuudenhallinta
- Verkkoinvestointien hallinta
- Kunnossapito

Trimble NIS verkkolaskenta mahdollistaa säteittäis- ja rengasverkkojen laskennan. Verkkolaskenta sisältää tehonjaon-, oikosulku-, maasulku- ja luotettavuuslaskennan. Näiden avulla saadaan mitoitettua verkon komponentit ja kaapelit, määritettyä suurimmat ja pienimmät oikosulku- ja maasulkuvirrat sekä vertailtua erilaisten vaihtoehtojen pitkäaikaiskustannuksia ja luotettavuutta parhaan mahdollisen verkostorakenteen valitsemiseksi. Trimble NIS on suunniteltu keskijänniteverkon hallintaan ja sen vahvuudet tulevat parhaiten esiin verkon suunnittelun ja hallinnan yhteydessä. [15]

Muut moduulit kattavat verkon ja investointien hallinnan sekä kunnossapidon suunnittelun. Tämä kokonaisuus kattaa työkalut verkon elinkaaren hallintaan strategisesta pitkän tähtäimen suunnittelusta rakentamiseen ja kunnossapitoon. Ohjelma mahdollistaa tilastollisten analyysien luonnin sekä verkon analysoinnin ja raportoinnin. [15]

4.2.2 Febdok

Febdok on Norjassa 90-luvun alussa kehitetty ohjelma verkostolaskentaan. Ensimmäinen versio julkaistiin jo vuonna 1991 ja ohjelma on saavuttanut johtavan aseman Nor-

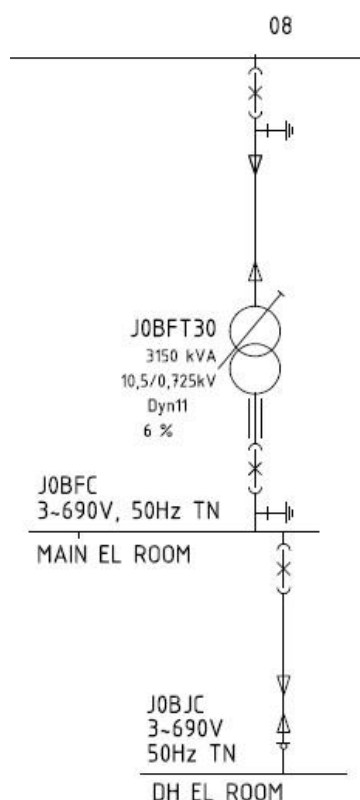
jassa verkostolaskentaohjelmien keskuudessa. Etuna monen muun valmistajan ohjelmaan verrattuna on, että Febdok ei ole sidottu yhden valmistajan komponentteihin, vaan ohjelma sisältää laaja-alaisesti eri valmistajien komponentteja. [16]

Febdokilla voidaan laskea vika- ja oikosulkuvirtojen lisäksi kosketusjännitteet ja jännitteenalenemat verkossa. Ohjelmalla voidaan myös valita sopivat komponentit saatujen laskentatulosten perusteella. Febdokilla saadaan tarkasteltua myös UPS-verkkojen toimivuus verkko- sekä akkusyötettyinä, sekä laskettua useaa jännitetasoa samalla kertaa, joten muuntajien ensiö- ja toisiopuolien laskenta on mutkatonta. Ohjelmassa on myös laajat dokumentointiominaisuudet, joilla laskentatulokset on helppo esittää. [17]

Ongelmia Febdokia käytettäessä voi ilmetä, mikäli halutaan usean syötön mahdollisuus, sillä ohjelma tukee vain yhdestä pisteestä syötettyä verkkoa. Tällöin usean syötävän muuntajan tai verkon rinnankytkentä ei ole mahdollinen. Lisäksi ohjelman komponenttivalikosta ei löydy kaikkia Suomessa toimivia valmistajia, eikä kaikkien valmistajien kaikkia malleja eri komponenteista. [16]

5 ESIMERKKIVERKON LASKENTA JA MITOITUS

Vertailuun valittuja ohjelmia vertaillaan mitoittamalla Vantaan Energian uuden jätevoimalaitoksen 690 V sähkökeskuksen J0BFC lähdöt jokaisella ohjelmalla. Koko jätevoimalaitoksen verkko on esitetty liitteessä 1 ja laskentaan valittu keskus J0BFC on esitetty kuvassa 5.1. Kyseinen keskus sisältää suoraan verkkoon kytkettyjä moottoreita (DOL ja PF) ja taajuusmuuttajakytkettyjä moottoreita (VSD), jotka on esitetty taulukossa 5.1. Keskukselta lähtevä alakeskuksen J0BJC syöttö mallinnetaan resistiivisenä kuormana. Kyseinen sähkökeskus valittiin laskentaan, koska keskus on sopivan kokoinen vertailulaskentoja varten kokonaan mallinnettavaksi jokaisella laskentaan valitulla ohjelmalla.



Kuva 5.1. J0BFC keskuksen syöttö ja alakeskus J0BJC.

Keskuksesta JOBFC tiedettiin laskentaa varten, että keskuksen nimellisjännite on 690 V, ja että pääkeskuksen JOBBA keskuksen syöttämä suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta $I_{k_max} = 38,8$ kA. Keskusta syötettiin 10,5 kV keskukselta JOBBA muuntajan JOBFT30 kautta. Muuntajalta keskukselle JOBFC tuotiin syöttö kiskosilta käyttäen. Taulukossa 5.1 on esitetty keskuksen JOBFC lähdöt ja niiden nimelliset kuormat. Suojien vaadituksi katkaisuaajaksi asetettiin 0,2 sekuntia. Huomioitavaa on, että tarkasteluissa taajuusmuuttajasyötettyjen lähtöjen oikosulkuvirtoja ei ole tarve tutkia, sillä niiden vaikutus jää vähäiseksi tarkastelujen osalta, sillä taajuusmuuttajien suojat havahtuvat oikosukutilanteeseen ja suojaavat kyseiset lähdöt. Laskennassa kuitenkin kyseiset lähdöt mallinnettiin yleisinä kuormina ABB Doc 2.0- ja Schneider Ecodial-ohjelmiin, koska ohjelmat eivät antaneet syöttää lähtöjä taajuusmuuttajaohjattuina. Lähtöjen suojat määritettiin siltä varalta, että taajuusmuuttajan suojaus ei syystä tai toisesta toimitisikaan. Suoraan verkkoon kytkettyjen moottorien käynnistysvirta asetettiin kuusinkertaiseksi nimellisvirtaan nähden moottorien käynnistysvirran aiheuttamaa jännitteenalenemaa tutkittaessa.

Taulukko 5.1. 690 V keskuksen JOBFC lähdöt. Air compressor- ja alakeskuslähdöt ovat suoraan kytkettyjä ilman suojakytkintä.

Syötön kohde	Teho (kW)	Tyyppi	Keskus-Suojakytk. (m)	Suojakytk.-Moottori (m)	Kokonaispituus (m)
DH SUPPLY PUMP 1	710	VSD	102	3	105
DH SUPPLY PUMP 2	710	VSD	102	3	105
GLYCOL FILLING PUMP	7,5	DOL	60	3	63
AIR COMPRESSOR 1	270	PF	-	-	60
AIR COMPRESSOR 2	270	PF	-	-	60
690V ALAKESKUS JOBJC	2090	-	-	-	240
FIRE WATER PUMP	315	VSD	232	3	235
Yhteensä	4372,5				

Laskennassa ei huomioitu keskuksen kuormituksen tasausta, eli oletuksena oli, että tulee tilanne, jossa kaikki kuormat toimitisivat täydellä teholla. Kuitenkin muuntajan teho huomioiden, huomataan, että tällaista tilannetta ei oleteta tapahtuvan tai tällöin ainakin osa kuormista on erotettava, koska muuntaja ei pysty syöttämään näin suurta kuormaa. Tarkastelu tehtiin tällä oletuksella, jotta jokaisen lähdön suojaus olisi oikein mitoitettu.

Kappaleissa 5.1 – 5.3 on esitetty lyhyesti laskennan etenemistä vertailuun valituilla laskentaohjelmilla. Laskennan eteneminen on pyritty kuvaamaan laskentaprosessin etenemisen mukaan. Kappaleessa 5.4 on esitetty mitoituksen tulokset jokaisen ohjelman osalta. Ohjelmien vahvuuksia ja heikkouksia käsitellään laajemmin kappaleessa 6.

5.1 OLS-Consult laskenta

OLS-Consult ohjelmien laskenta perustuu hyvin spesifiisiin tilanteisiin. Kuten kappaleen 4.1.1 taulukosta 4.1 huomataan, on eri tilanteita varten huomattava määrä eri laskentapohjia. Jokaisen käyttöliittymä on kuitenkin hyvin samankaltainen. Käyttäjälle jää lähinnä oikean ohjelman valitseminen kyseiseen laskentaan, lähtötietojen syöttäminen

ohjelmaan ja tulosten tulkinta. Huomioitavaa muihin laskentaan valittuihin ohjelmiin verrattuna on kuitenkin kokonaisen verkkomallin puuttuminen ohjelmasta. Mitoittamisen pohjana onkin jokaisen lähdön mitoittaminen erikseen, jolloin käyttäjä käy jokaisen lähdön osalta mitoittamistarkastelun yksi kerrallaan tai luo mitoitusaulukot, joiden pohjalta nämä voidaan mitoittaa.

J0BFC keskuksen lähtöjen mitoittaminen OLS-Consult ohjelmalla aloitettiin valitsemalla *vikavirrat*-ohjelma oikosulkuvirtojen laskentaa varten. Ohjelma antaa lähtötietojen perusteella keskuksen suurimmat ja pienimmät oikosulkuvirrat moottorikuorman kanssa ja ilman moottorikuormaa. Laskentamalliin syötettiin moottorit ja kojeet, jotka eivät olleet taajuusmuuttajaohjattuja, koska taajuusmuuttajaohjattujen moottoreiden vaikutus vikavirtoihin on pieni. Tuloksena saatiin keskuksissa J0BFC ja J0BJC esiintyvät vikavirrat, joiden mukaisesti tulee keskuksia syöttävien komponenttien oikosulukestoisuus mitoittaa.

Keskuksien oikosulkuvirtojen tarkastelun jälkeen tuli tarkastella jokaisen lähdön suojaus erikseen. Tähän tarkoitukseen tehtiin projektia varten mitoitusaulukot, joihin valittiin aluksi eri suojalaitteet eri lähtötyypeille kuormituksen mukaisesti. Tämän jälkeen käytettiin *pituus*-ohjelmaa, jolla tarkasteltiin kaapeleita suhteessa suojalaitteisiin. Tuloksena pituus-ohjelma antaa pisimmän mahdollisen syötön pituuden suojalaitteesta ja kaapelista riippuen. Lisäksi tarkasteltiin vielä moottoreiden käynnistyksen yhteydessä tapahtuva jännitteenalenema käyttäen *moottorin U-alenema*-ohjelmaa. Nämä tulokset lisättiin mitoitusaulukoihin, joita käytettiin lähtöjen mitoittamiseen. Mitoittaminen tapahtui käytännössä valitsemalla mitoitusaulukosta kuormitusta vastaavat kaapelit ja suojalaitteet. Mitoitusaulukot on esitetty liitteessä 2.

Lopputulosten dokumentointiin OLS-Consultissa ei ole omaa työkalua, joten nämä jäivät käyttäjän omaksi tehtäväksi. Kätevin tapa on käyttää kuvakaappauksia ohjelmasta tai erillisen loppudokumentin luominen taulukkona tai asiakirjana, kuten liitteen 2 mitoitusaulukoiden kanssa on tehty. OLS-Consult-ohjelmien mitoituksen tulokset on esitetty kappaleessa 5.4 taulukossa 5.2.

5.2 ABB Doc 2.0 laskenta

ABB Doc 2.0 ohjelman laskenta pienjännitepuolella perustuu keskuskohtaiseen mitoittamiseen. Yksittäisen keskuksen syötöt ja lähdöt mallinnetaan ohjelmalla ja ohjelma mitoittaa samalla kaapelit ja suojalaitteet sekä ilmoittaa, mikäli se havaitsee puutteita suojauksessa tai kaapeleiden virtakestoisuuksissa. Ohjelmalla yksittäisen keskuksen mitoittaminen on erittäin kätevää, mikäli tarpeelliset lähtötiedot ovat tarjolla. Eri tilanteet kuvataan värikoodeilla piirikaaviossa siten, että vihreä tarkoittaa oikein mitoitetua piirin osaa ja oranssissa osassa on ongelmia, joko suojauksen tai muun mitoittamisen kannalta.

J0BFC keskuksen mitoittaminen ABB Doc 2.0-ohjelmalla aloitettiin syöttämällä ohjelmaan ennalta tiedetty verkon syöttämä suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta I_{k_max} . Vaihtoehtoisesti olisi voitu syöttää syöttävän muuntajan J0BFT30 tiedot ohjelmaan ($S =$

3,15MVA, $u_k = 6\%$), jonka jälkeen ohjelma olisi laskenut automaattisesti arvion verkon suurimmalle kolmivaiheiselle oikosulkuvirralle I_k ". Tämän jälkeen ohjelmaan mallinnettiin keskuksen lähdöt ja lukittiin jo etukäteen valitut komponentit, kuten kaapeleiden ja suojien tyypit, jotta ohjelma ei muuttelisi näitä mitoittaessaan verkkoa, vaan pyrki mitoittamaan muut suojat haluttujen suojien mukaisesti. Mitoitettaessa keskusta JOBFC oli lukittava useita suojia ja kaapeleita, jotta laskenta saatiin menemään ongelmitta läpi. Käyttäjän oli kuitenkin varmistettava, että kyseiset suojat eivät laukeaisi nimellisellä kuormalla, koska ohjelma ei jostain syystä ilmoittanut tästä ongelmasta, mikäli komponentteja meni manuaalisesti lukitsemaan. Lisäksi taajuusmuuttajaohjatut lähdöt päätettiin mallintaa yleisinä kuormina, koska ainoat moottorinohjaustavat olivat suora verkkoon kytkentä tai tähti-kolmiokäynnistys. Kun ohjelma oli suorittanut laskennan, voitiin eri verkon osien oikosulkuvirtoja tarkastella avaamalla kyseisen komponentin alta joko *tiedot*-alavalikko tai *oikosulkuvirrat*-alavalikko.

Kohdatut mitoitusongelmat ohjelma näytti selkeästi ja suojauksien mitoittamisessa kaapeleiden virtakestoisuuden suhteen helpotti ohjelman tarjoama *graphs*-ikkuna, jossa eri suojakäyriä ja virtakestoisuuksia voitiin vertailla keskenään. Tietty mitoittaessa tulleet selektiivisyysongelmat, joita ohjelma ei kyennyt korjaamaan, saatiin korjattua käsin helposti tulkitsemalla *graphs*-ikkunasta eri suojien suojakäyriä. Lopuksi saaduista mitoitustuloksista luotiin dokumentti, joka sisälsi tehtyjen piirikaavioiden lisäksi tiedot valituista komponenteista ja vikavirroista. Tuloksista on verkkomallin lisäksi esitetty lyhyt otos liitteessä 3. Tuloksissa on huomioitava, että taajuusmuuttajaohjatut lähdöt mallinnettiin yleisinä kuormina, jolloin tuloksien vikavirrat kyseisten lähtöjen osalta käytännössä vastaavat osittain tilannetta, jossa taajuusmuuttajan suojat eivät syystä tai toisesta havahdu vikaan. ABB Doc 2.0 ohjelman mitoituksen tulokset on esitetty kappaleessa 5.4 taulukossa 5.3.

5.3 Schneider Ecodial laskenta

Schneider Ecodial ohjelma pyrkii laskennassa kattamaan koko teollisuusverkon mitoittamisen. Koko laskettava teollisuusverkko mallinnetaan ohjelmaan, jonka jälkeen ohjelmaan lukitaan etukäteen valitut komponentit ja ohjelma mitoittaa muut komponentit automaattisesti vikavirrat ja ohjelmaan syötetyt kuormat huomioiden. Mikäli ohjelma havaitsee ristiriitoja tai ongelmia suojauksen kannalta, ilmoittaa se ne näkyvästi laskennan aikana ja laskennan jälkeen vikailmoituksina.

JOBFC keskuksen mitoittaminen aloitettiin Schneider Ecodial ohjelmalla mallintamalla aluksi keskuksen syöttö ja keskuksen lähdöt ohjelmaan. Lähtötiedoista tiedetyt komponentit lukittiin ohjelmaan valmiiksi, kuten Doc 2.0 ohjelmassakin, jonka jälkeen laskenta mitoitti loput verkon komponentit. Taajuusmuuttajaohjatut lähdöt mallinnettiin ohjelmaan yleisinä kuormina, johtuen komponenttivalikoiman rajoituksista. Ainoa komponentti, joka tarvitsi manuaalisen lukitsemisen Schneider Ecodial ohjelmassa mitoittaessa keskusta JOBFC, oli syöttävän muuntajan teho. Tämä johtui siitä, että kyseisen tehoista muuntajaa ei löydy ohjelman komponenttiluettelosta, joka soveltuisi syöt-

tämään kyseistä verkon osaa. Tämän seurauksena oli muuntajan teho lukittava ennen laskentaa, ettei ohjelma ilmoittaisi virheilmoituksella muuntajan tehon olevan liian pieni. Laskennan jälkeen voitiin eri verkon osissa esiintyviä vikavirtoja tarkastella valitsemalla calc-results-näkymä tai tarkastelemalla tietyn komponentin details-valikkoa.

Mitoitusongelmista ohjelma ilmoitti virheilmoituksella ja merkillä verkkomallissa. Myös Schneider Ecodial ohjelmasta löytyi curves-valikko, josta eri suojalaitteiden suojauskäyrät ja kaapeleiden virtakestoisuudet kävivät ilmi. Jokaisen syötön osalta voitiin siis kätevästi tarkastella suojien selektiivisyyttä. Lopuksi saaduista mitoitus tuloksista luotiin ohjelmalla dokumentti, joka sisälsi taulukkomuodossa mitoituksen avulla saadut tulokset, kuten esimerkiksi valitut komponentit, niiden tiedot sekä niissä esiintyvät oikosulkuvirrat. Tuloksista on esitetty verkkomallin lisäksi lyhyt otos liitteessä 4. Tuloksissa on huomioitava, että taajuusmuuttajaohjatut lähdöt mallinnettiin yleisinä kuormina, jolloin tuloksien vikavirrat kyseisten lähtöjen osalta käytännössä vastaavat osittain tilannetta, jossa taajuusmuuttajan suojat eivät syystä tai toisesta havahdu vikaan. Schneider Ecodial ohjelman mitoituksen tulokset on esitetty kappaleessa 5.4 taulukossa 5.4.

5.4 NePlan laskenta

NePlan ohjelma on rakenteeltaan modulaarinen ja tässä työssä käytettiin ohjelman tehonjako-, oikosulku- ja moottorikäynnistys-moduuleja. Ohjelma ei sovellu pienjänniteverkon mitoittamiseen aivan yhtä hyvin kuin esimerkiksi ABB Doc 2.0 tai Schneider Ecodial, sillä se ei tarjoa komponentteja ja mitoita kaapeleita niiden virtakestoisuuden mukaan. Ohjelmassa on kuitenkin toimintoja, joita ei muissa ohjelmissa ole, kuten verkon harmonisten yliaaltojen tutkiminen. Tässä työssä näitä toimintoja ei kuitenkaan tarvittu.

NePlanilla laskenta aloitetaan rakentamalla verkosta verkkomalli, johon käyttäjä syöttää kaapeleiden ja komponenttien tiedot. Tämä on huomattavasti työläämpää kuin muissa vertailun ohjelmissa, sillä varsinaista tietopankkia kaapeleista tai moottoreita ei löydy, jolloin käyttäjän tulee syöttää kaapeleiden resistanssit, reaktanssit ja muut tiedot malliin käsin. Jos tarvittavat lähtötiedot on saatavilla, saadaan mallista kuitenkin erittäin tarkka.

NePlanilla JOBFC-keskuksen mallintaminen aloitettiin rakentamalla verkkomalli syöttävästä muuntajasta ja keskuksen lähdöistä. Muuntajaa syöttävän johdon ja keskuksen ja muuntajan välisen kiskosillan tiedot syötettiin verkkomalliin. Tämän jälkeen suoritettiin laskenta, jonka seurauksena saatiin tehonjako ja arviot oikosulkuvirroista. Näiden avulla tutkittiin muuntajan koon riittävyys ja valittiin malliin sopivat kaapelit kaapeleiden oikosulkukestoisuuksien mukaisesti. Tämä vastaava prosessi oli tehty jo OLS-Consult ohjelmalla, joten vastaavia mitoitus taulukkoja voitiin hyödyntää, jonka seurauksena malli vastasi OLS-Consult ohjelman laskentamallia. Eri kaapeleiden resistanssit, reaktanssit ja kapasitanssit syötettiin malliin kaapelivalmistajan taulukoista, kyseiset

taulukot löytyvät lähteistä 18-20. Tämän jälkeen laskenta ajettiin uudestaan läpi, jonka seurauksena tarkistettiin suojien riittävyys ja kaapeleiden virtakestoisuudet.

Laskennan tulokset saatiin kätevimmin esitettyä verkkomallista otetuilla tulosteilla, joissa esitetään halutut suureet. Kyseiset tulokset on esitetty liitteessä 5. Tuloksista huomataan, että NePlan ei suoranaisesti ole mitoitusohjelma vaan verkostolaskentaohjelma, jota voidaan käyttää apuna mitoittaessa, ja joka soveltuu teollisuusverkossa esiintyvien ilmiöiden laskentaan paremmin kuin muut vertailuun valitut ohjelmat. Mitoitukseen ohjelmaa voidaan hyödyntää käyttämällä saatuja verkon suureita apuna määrittämällä suojien ja kaapeleiden virtakestoisuudet oikeiksi.

5.5 Mitoituksen tulokset

Jokaisella vertailuun valitulla ohjelmalla toteutettiin keskuksen JOBFC lähtöjen mitoittaminen kaapeleiden ja suojien osalta. Kyseiset tulokset on kasattu taulukoihin 5.2–5.4. Tuloksista huomataan, että Schneider Ecodialilla saadut tulokset ovat hieman yksinkertaisemmat kuin muilla ohjelmilla. Tämä johtuu siitä, että Ecodialilla ei kyetty rakentamaan lähtöä, joka menisi suojakytkimen kautta kuormalle, vaan tarkastelu oli tehtävä koko lähdön osalta yhtenä kokonaisuutena.

Tulosten tulkinnassa kannattaa ottaa huomioon, että laskenta ei ota huomioon tasauskertoimia kuormien välillä. Eli laskenta olettaa kuormien kuormittavan keskusta täydellä teholla samanaikaisesti ja tämän seurauksena syöttävän muuntajan teho ei laskentamalleissa riittänyt ja keskuksen syöttävät kiskot ja suojat ovat ylimitoitettuja. Näitä ei tuloksiin ole listattu kyseisestä syystä. Muuntajan tiedot olivat kuitenkin annettu lähtötietoina, joten oletuksena oli että tasauskertoimet oli otettu huomioon jo muuntajan kokoa määrittäessä. Yleisesti ottaen keskuksen etukojeet olisi hyvä valita muuntajan virta ja oikosulkukestoisuuden mukaisesti. Kuitenkin yksittäisten lähtöjen osalta voidaan olettaa suojauksien olevan oikein mitoitettuja.

Taulukko 5.2. JOBFC-keskuksen OLS-Consult-ohjelmiston mitoituksen tulokset.

Lähtö	Suoja	OLS-Consult		
		Keskus-Taajuusmuuttaja-Suojakytk.	Suojakytk-Moottori	Keskus-Moottori/Keskus
		Kaapeli/PE	Kaapeli/PE	Kaapeli/PE
DH SUPPLY PUMP 1	Katkaisija, 1250A	Cu 4x(3x185+95)	Cu 3x(3x185+95)	-
DH SUPPLY PUMP 2	Katkaisija, 1250A	Cu 4x(3x185+95)	Cu 3x(3x185+95)	-
GLYCOL FILLING PUMP	16aM/32A	Cu 3x6+6	Cu 3x2,5+2,5	-
AIR COMPRESSOR 1	400aM/400A	-	-	Al 2x(3x185/57)
AIR COMPRESSOR 2	400aM/400A	-	-	Al 2x(3x185/57)
690V SUB SWITCHBOARD JOBJC	Katkaisija, 2000A	-	-	Cu 8x(3x240+120)
FIRE WATER PUMP	400gG/630A	Al 2x(3x185/57)	Cu 3x240/120	-

Taulukko 5.3. *JOBFC-keskuksen ABB Doc 2.0-ohjelman mitoituksen tulokset.*

Lähtö	Suoja	ABB Doc 2.0		
		Keskus-Taajuusmuuttaja-Suojakytk.	Suojakytk-Moottori	Keskus-Moottori/Keskus
		Kaapeli/PE (Cu)	Kaapeli/PE (Cu)	Kaapeli/PE (Cu)
DH SUPPLY PUMP 1	Katkaisija, 630A	3x(3x240/120)	2x(3x300/150)	-
DH SUPPLY PUMP 2	Katkaisija, 630A	3x(3x240/120)	2x(3x300/150)	-
GLYCOL FILLING PUMP	10aM/32A	3x4/4	3x4/4	-
AIR COMPRESSOR 1	400aM/400A	-	-	2x(3x150/95)
AIR COMPRESSOR 2	400aM/400A	-	-	2x(3x150/95)
690V SUB SWITCHBOARD JOBJC	Katkaisija, 2000A	-	-	7x(4x300/150)
FIRE WATER PUMP	Katkaisija, 320A	2x(3x150/95)	3x240/120	-

Taulukko 5.4. *JOBFC-keskuksen Schneider Ecodial-ohjelman mitoituksen tulokset.*

Lähtö	Suoja	Schneider Ecodial	
		Keskus-Moottori/Keskus	
		Kaapeli/PE (Cu)	
DH SUPPLY PUMP 1	Katkaisija, 630A	3x(3x240)/2x185	
DH SUPPLY PUMP 2	Katkaisija, 630A	3x(3x240)/2x185	
GLYCOL FILLING PUMP	Johdonsuojakatk., 10A	3x1,5/4	
AIR COMPRESSOR 1	355gG/400A	2x(3x240)/240	
AIR COMPRESSOR 2	355gG/400A	2x(3x240)/240	
690V SUB SWITCHBOARD JOBJC	Katkaisija, 2000A	9x(4x300)/5x300	
FIRE WATER PUMP	355gG/400A	2x(3x240)/240	

NePlan ohjelmalla tutkittiin OLS-Consult ohjelmalla saadut tulokset, sillä NePlanilla mitoittaessa kävisi mitoittaja vastaavan prosessin läpi kuin mikä tehtiin jo OLS-Consult ohjelmaa käytettäessä mitoitukseen. Mitoittaja siis valitsisi saatuja vikavirta- ja tehonjakotuloksia apuna käyttäen sopivat suojat ja kaapelit lähdöille ja tutkisi myös, että suojaus on selektiivinen. Kun NePlaniin rakennettiin OLS-Consult ohjelman tuloksia vastaava verkkomalli, huomattiin että kaapeleiden ja suojien mitoitus on riittävä.

Taulukkoja 5.2–5.4 tutkiessa käy ilmi, että suojausratkaisut ovat kutakuinkin samankaltaiset, riippumatta siitä millä ohjelmalla tarkastelu on toteutettu. Pieniä eroavaisuuksia kuitenkin ilmenee, sillä ohjelmat mitoittavat suojat hieman yli varsinaisen kuormituksen, ja tämä ylimitoitus vaihtelee eri ohjelmien välillä. Tämän lisäksi esimerkiksi Schneider Ecodialissa ei käyttäjä kykene määrittämään vapaasti jännitetasoja ja kuormia, vaan joutuu valitsemaan nämä alusvetovalikoista, jolloin tuloksissa voi ilmetä pientä epätarkkuutta. Tässä tapauksessa lähtöjen mitoittamisessa epätarkkuutta ei kuitenkaan ilmennyt jännitteiden osalta, koska keskuksen JOBFC jännitetasoksi saatiin valettua tarkasti 690 V, mutta kaapelia suojakytkimeltä moottorille ei kyetty luomaan ohjelman verkkomalliin. Ohjelmat sisältävät myös erilaiset algoritmit komponenttien valintaan, joihin käyttäjä ei pääse vaikuttamaan, ja jotka saattavat priorisoida eri kompo-

nenttivalinnan hinnan, suojauksen tai jonkin muun kriteerin mukaisesti. Lisäksi eri komponenteilla voi olla erilaiset ominaisuudet, joita ei pääse varsinkaan ABB Doc 2.0 tai Schneider Ecodialissa muokkaamaan.

6 LASKENTAOHJELMIEN VERTAILU

Lyhyen case-laskennan jälkeen ohjelmien erilaisuuden huomaa selkeästi. Vaikka ohjelmat laskevat aivan samoja asioita verkosta, on eri ohjelmien erilaiset laskennan lähtökohdat havaittavissa. Schneider Ecodial yrittää laskea koko verkon laskennan yhdellä kertaa, kun taas ABB Doc 2.0 pienjännitelaskenta perustuu keskuskohtaiseen laskentaan ja OLS-Consult ohjelma puolestaan lähtökohtaisiin tarkasteluihin ja erikoisempiin mitoitusilanteisiin. NePlanissa on puolestaan pyritty keskittymään laajojen verkkojen vikavirtojen ja muiden verkossa esiintyvien suureiden tarkasteluun, eikä niinkään yksittäisten lähtöjen mitoittamiseen. Jokaisella ohjelmalla on kuitenkin omat vahvuutensa ja heikkoutensa, joita on listattu ja jaoteltu monipuolisuuden, käytettävyyden ja dokumenttiominaisuuksien mukaisesti tässä kappaleessa. Kappaleessa 7 on lyhyt yhteenveto ja perustelut saaduista tuloksista eri ohjelmien välillä.

6.1 Monipuolisuus

Monipuolisuutta vertailussa mitataan ohjelman kyvyllä käsitellä eri mitoitusilanteita. Peruslaskenta eli oikosulkuvirtojen laskenta ja suojalaitteiden sekä kaapeleiden mitoitus onnistuu kaikilla vertailuun valituilla ohjelmilla, mutta jokaisella ohjelmalla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa, jotka joko mahdollistavat tarkasteluja joita muilla ei voi tehdä tai rajoittavat tiettyjä toimintoja pois. Nämä kyseiset toiminnot ovat oleellinen tekijä valitessa ohjelmaa tietyntyyppiseen laskentaan.

Toiminnoiltaan monipuolisin pienjännitemitoittamisen kannalta ohjelmista on OLS-Consult ohjelmistokokonaisuus. OLS-Consult ohjelmat sallivat lähes jokaisen lähtöarvon muokkauksen, mikä mahdollistaa mahdollisimman laajan tarkastelun. Näin ollen on vaikea löytää tilannetta jossa OLS-Consult ohjelmien rajat tulisivat muokattavuudessa vastaan. Ohjelma myös sisältää toimintoja niin mitoituksen kuin laskennan puolelta, joten ohjelmalla kyetään tarkastelemaan verkon ilmiöitä laajemmin kuin ABB Doc 2.0 tai Schneider Ecodial-ohjelmilla, vaikkei se yhtä laajoihin tarkasteluihin verkostolaskennan osalta pääsekään kuin NePlan. Ohjelma voi olla toisaalta hyvin hidas käyttää, koska jokainen lähtö ja tilanne on tarkasteltava erikseen, joten laskentaa ei voi suorittaa koko verkon osalta yhdellä kertaa. Monipuolisuus on suuren ohjelmakattauksen ansiota, mutta laajempaa tarkastelua varten on käytettävä useampaa eri ohjelmaa, jotta kaikki tarpeelliset tarkastelut saa tehtyä.

Schneider Ecodialissa on sisäänrakennettuna Schneiderin omia komponentteja, joiden avulla ohjelma mitoittaa verkkoa. Ideana kyseinen toiminto on hyvä, mutta eri komponenttien vähyys ja rajoitteisuus on muodostua ongelmaksi mitoittaessa pientäkin verkkomallia. Myös muokattavuuden vähyys voi koitua mitoittajan ongelmaksi. Eri

komponenttien arvoja ei pääse muuttelamaan yhtä vapaasti, kuin muilla vertailuun valituilla ohjelmilla. Tämän seurauksena on tehtävä kompromisseja verkkomallin ja laskennan suhteen, jolloin nämä eivät ole välttämättä aivan yhtä tarkkoja kuin muilla ohjelmilla. Ongelmallista on myös Schneiderin tapa rakentaa valikot ja eri arvojen valinta alavetovalikkojen alle, jolloin käyttäjä ei voi syöttää vapaasti lähtöarvoja läheskään kaikkiin haluttuihin kohtiin. Tämä on seurausta siitä, että Schneiderin tuotevalikoima on rakennettu näiden valintojen pohjalta, jolloin ohjelma osaa valita näistä Schneiderin tuotteista sopivat verkon kannalta. Tämä on kuitenkin suuri rajoite tarkan verkkomallin rakentamiselle, varsinkin jos käyttäjä haluaa saada mitoittamisen ohella muitakin verkossa esiintyviä suureita tarkasti laskettua.

ABB Doc 2.0 ohjelmassa on myös samankaltaisia ongelmia kuin Schneider Ecodialissa komponenttivalikoiman suhteen. Sisäänrakennettu komponenttiluettelo on kuitenkin laajempi kuin Schneider Ecodialissa, joten yhtä paljon kyseisiä ongelmia ei tule vastaan verkkomallia rakentaessa. Lisäksi osa komponenteista on vapaammin muokattavissa kuin Schneider Ecodialissa, joten verkkomallista saadaan hieman tarkempi. Suurin osa ABB Doc 2.0 valikoista on vapaita kenttiä, joihin käyttäjä voi sijoittaa vapaasti minkä arvon haluaa. Tämä mahdollistaa tarkemman verkkomallin kuin Schneider Ecodial-ohjelman valikot.

NePlan eroaa hieman muista ohjelmista toiminnoiltaan. Se ei niinkään keskity yksittäisten lähtöjen tarkasteluun vaan pyrkimyksenä on tutkia suuremmissa verkoissa esiintyviä suureita. Ohjelmalla voidaan tutkia kyllä työn case-esimerkin tapaista tapausta, mutta se ei loista kyseissä laskennassa. Ohjelmasta löytyy kuitenkin erittäin laajat ominaisuudet verkon vikavirtojen, tehonjaon, jännitteenalenemien, harmonisten yliaaltojen ja moottorien käynnistysvirtojen aiheuttamien jännitekuoppien tutkimiseen. Varsinaista komponenttipankkia ei ole ja mitoittamiseen ohjelmaa voi käyttää lähinnä tukena vikavirtoja ja muita verkon suureita laskettaessa. Käyttäjän tulee itse lopulta valita saatujen laskentojen perusteella sopivat komponentit verkkoon.

6.2 Käytettävyys

Käytettävyys on oleellinen osa jokaista tietokoneohjelmaa. Jos ohjelmaa ei voi luontevasti käyttää, on se työkaluna hyvin hidas ja vaikeakäyttöinen ja pahimmassa tapauksessa antaa vääriä tuloksia, jos käyttäjä ei osaa käyttää ohjelmaa oikein. Huonosti toteutettu käytettävyys voi pahimmassa tapauksessa olla esteenä koko ohjelman käyttämiseen mitoittamisessa. Jokaisella vertailuun valitulla ohjelmalla on hyvin erilainen käyttöliittymä, ja vaikka kyseessä on hyvin subjektiivinen näkemys, on tuloksia yritetty perustella pitäen silmällä ohjelman peruskäyttäjää ja tämän tarpeita. Lisäksi käytettävyyteen vaikutti myös mahdolliset ohjelmistovirheet, mitä laskennan aikana tuli vastaan. Onneksi jokainen ohjelma oli erittäin vakaa käyttää ja vakavia ohjelmistovirheitä ei vastaan tullut.

Erikoiseksi käytettävyyden tarkastelussa nousi jokaisen vertailuun valitun ohjelman eri lähtökohta siitä, millaiseen mitoittamiseen ohjelmaa on tarkoitus käyttää. Jokainen

ohjelma kyllä selviää verkon mitoittamisesta, mutta siinä missä OLS-Consult ohjelmat on suunniteltu spesifisiä tilanteita varten, on puolestaan Schneider Ecodialin, ABB Doc 2.0:n ja NePlanin lähtökohtina olleet suurempien kokonaisuuksien, kuten kokonaisten sähkökeskusten tai jopa kokonaisen teollisuussähköverkon mitoittaminen samalla ohjelmalla yhdellä laskennalla. Tämän seurauksena ohjelmat soveltuvat erilailla erikokoisten verkkojen ja kokonaisuuksien mitoittamiseen.

OLS-Consult ohjelmat eroavat muista vertailun ohjelmista siinä, että se perustuu moneen eri laskentapohjaan, joita käyttämällä sopivasti yhdessä saadaan halutut tulokset laskettua. Varsinaista verkkomallia ei ole, vaan käyttäjä itse valitsee sopivat työkalut laskentaa varten. Tämä on käytettävyyden kannalta haastavaa ja aikaa vievää. Lisäksi suurien kokonaisuuksien hallinta voi tulla haastavaksi, kun laskentapohjien kopioita alkaa muodostua jokaisesta eri laskennasta tai käyttäjän on luotava mitoitusaulukot, joiden pohjalta tulokset on selkeämpi esittää. Ohjelma soveltuukin parhaiten nopeisiin lyhyisiin tarkasteluihin, joissa suojauksia tai kaapeleita mitoitetaan kuormituksen mukaisiksi. Ulkoasultaan eri laskentapohjat ovat hyvin samankaltaisia, mutta osa pohjista voi olla hyvin sekavia, johtuen pääosin kaikesta informaatiosta, mitä kyseiset laskentapohjat antavat käyttäjälle. Yleensä kyseiset tiedot ovat eri ohjelmissa alavalikoiden takana, mutta ratkaisu rakentaa ohjelma Excel-tiedostopohjien päälle on mahdollisesti estänyt alavalikoiden käytön, jolloin kaikki laskentadata on esitettävä tavalla tai toisella käyttäjälle samassa näkymässä.

Schneider Ecodial ohjelma on selkein vertailun ohjelmista ulkonäöltään. Sen käyttöliittymä on erittäin looginen ja verkkomallin rakentaminen ohjelman piirtotyökaluilla on helppoa. Haastavaksi käytön tekevät komponenttien määrittämisen haasteet, sillä ohjelma estää tiettyjen komponenttien valitsemisen, mikäli komponentti on jo kiinni verkkomallissa. Lisäksi käyttäjä ei voinut vapaasti rakentaa halumaansa verkkoa, vaan oli kiinni ennalta määrätyissä kuormatyypeissä ja lähtöratkaisuisa. Komponenttien valinta mallinnettavaan verkkoon tuntui toimivan erittäin hyvin ja käyttäjän ei ollut tarve pakottaa ohjelmaa käyttämään tiettyjä komponentteja saadakseen mitoituksen onnistumaan, vaan ohjelma osasi itse ottaa huomioon eri vaihtoehdot, mikäli Schneiderin omassa tuotevalikoimassa oli sopivia komponentteja.

ABB Doc 2.0 ohjelma on hyvin samankaltainen käytettävyyden kannalta Schneider Ecodialin kanssa. Ohjelmaan rakennetaan verkkomalli, jonka kanssa laskenta suoritetaan. Ohjelma ei kuitenkaan ole yhtä selkeä kuin Schneider Ecodial, ja ABB Doc 2.0 kärsii lievistä ohjelmistovirheistä. Esimerkiksi satunnaisin ajoin tapahtuva komponenttien katoaminen ABB Doc 2.0 tietokannasta on kuitenkin hyvin haitallinen ja hidastava ongelma, joka korjaantuu vasta käynnistämällä ohjelman uudestaan. Ohjelmalla on kuitenkin erittäin helppo tehdä toimiva verkkomalli oikeasta verkosta, kunhan erikoisiin piirtotyökaluihin vain tottuu. Lisäksi laaja kattaus eri ABB komponentteja ja vapaasti muokattavat arvot eri komponenteilla auttavat muokkaamaan halutunlaisen verkon. Ohjelman heikkoutena on kuitenkin ohjelman kyky valita komponentteja verkkoon. Välillä käyttäjän on pakko käydä valitsemassa tietty komponentti tiettyyn osaan verkkoa, jotta mitoittaminen onnistuisi. Näissä tilanteissa Doc 2.0 ohjelma ei osaa usein valita mitään

komponenttia kyseiseen verkon osaan, vaikka vaihtoehtoja olisi vain yksi sopiva. Ohjelma ei myöskään anna kaikista mitoitusongelmista selkeää virheilmoitusta, vaan käyttäjän täytyy itse osata tulkita, mikä on ongelmana kyseisessä tilanteessa.

NePlan ohjelma on myös erittäin selkeä ulkoasultaan ja ohjelman rakenne perustuu eri moduulien valitsemiseen, joilla eri laskennat ajetaan läpi. Ohjelmasta on pyritty tekemään mahdollisimman käyttäjäystävällinen hyvien oppaiden, laajan manuaalin ja erilaisten esimerkkiverkkojen avulla. Ohjelmassa on kuitenkin niin paljon sisältöä, että peruskäyttäjän täytyy tutustua ohjelmaan todella kauan löytääkseen kaiken tarvitseman. Varsinainen käyttöliittymä on kuitenkin erittäin yksinkertainen käyttää ja kaikki toiminnot toimivat kuten niiden kuuluukin. Tulosten esittämiseen on myös tarjolla hyvin paljon eri mahdollisuuksia taulukkojen tai verkkomalliin piirrettyjen arvojen väliltä, joista käyttäjä voi itse valita mitä haluaa esitettävän.

6.3 Dokumentointi ja projektin hallinta

Dokumentointi on oleellinen osa mitä tahansa teollisuuden suunnitteluprojektia. Mitoittamisen laskentatuloksista onkin syytä saada luotua ohjelmilla helposti julkaisukelpoisia dokumentteja, jotta tuloksien raportointi olisi mahdollisimman nopeaa. Lisäksi näiden dokumenttien avulla saadaan nopeasti projekti etenemään ilman, että jokaisen suunnittelijan tarvitsisi itse ajaa laskenta läpi koneellaan saadakseen samat tulokset. Näin laskenta voidaan keskittää tietyille osalle suuremman projektin suunnitteluhenkilöstöä.

OLS-Consult ohjelmakokonaisuudessa ei varsinaisesti ole dokumentointiominaisuuksia. Ohjelman dokumentaatio perustuu kuvakaappauksiin laskentapohjista tai mitoitustaulukoiden tekemiseen. Tämän seurauksena käyttäjän on itse huolehdittava dokumentoinnin luonnista laskennan ohella. Tämä tukee ajatusta siitä, että ohjelmaa on tarkoitus käyttää satunnaisiin pieniin ja nopeisiin laskentoihin projekteissa eikä suurempaan mitoittamiseen. Lisäksi ohjelmasta puuttuu kokonaan keskitetty projektitiedosto, joten ohjelman yhteinen käyttäminen monen eri käyttäjän välillä suuressa projektissa on lähes mahdotonta.

Schneider Ecodial ohjelmassa on oma dokumentointityökalu, joka muodostaa laskennan tuloksista loppuraportin. Tämän loppuraportin lisäksi ohjelma muodostaa kuvana verkkomallin erilliseen tiedostoon. Verkkomallin automaattinen kuvakaappaus ei kuitenkaan toimi kovin hyvin, vaan usein käyttäjän tarvitsee itse käydä ottamassa verkkomallista kuva, koska automaattisesti luotu verkkomallin kuva on suttuinen ja epäselvä. Loppuraportin sisältämiin tietoihin ei myöskään pääse vaikuttamaan vaan ohjelma luo automaattisesti kaikista saaduista tiedoista loppuraportin, joten käyttäjä ei voi karsia osia pois, joita ei välttämättä tarvita. Schneider Ecodial luo projektista projektitiedoston, jossa on kaikki projektin tiedot, joten suuressa projektissa useampi käyttäjä voi vuorollaan käydä tekemässä muokkauksia yhteiseen tiedostoon. Tämän seurauksena Ecodial ohjelman käyttäminen suuremmassa projektissa onnistuu kohtuullisen pienellä vaivalla, vaikka laskijoita ja mitoittajia olisi useampi projektin parissa.

ABB Doc 2.0 ohjelma tarjoaa myös dokumentointityökalun saatujen tulosten dokumentoimiseen. Erona Schneider Ecodialiin on, että käyttäjä pääsee itse valitsemaan mitä haluaa loppudokumentin sisältävän. Tämän toiminnon avulla loppudokumentaatiosta saadaan karsittua mahdolliset turhat osat pois, jolloin loppudokumentaation on huomattavasti selkeämpi. Myös Doc 2.0 keskittää laskennan yhteen projektitiedostoon, joten projektin hallinta on erittäin helppoa monen käyttäjän kesken.

NePlanissa tulosten esittäminen jää usein verkkomallissa esitettyjen suureiden esittämiseen. Erilaisten taulukoiden teko kyseisistä suureista onnistuu myös, mutta selkein tapa esittää tulokset on usein verkkomallin avulla. Varsinaista virallista dokumenttia kaikista saaduista tuloksista ei ohjelma kuitenkaan rakenna, vaan käyttäjän tulee itse kasata tulokset ohjelmasta. NePlan soveltuukin erittäin hyvin esimerkiksi suuremman verkon vikavirtojen esittämiseen, koska verkkomallissa pystytään esittämään käyttäjän valitsemat halutut suureet. Saaduista tuloksista olisi kuitenkin suuremmassa projektissa tehtävä erillinen dokumentti vielä tämän graafisen esityksen lisäksi, jossa esitetään valitut lähtöarvot ja muuta laskennan oletuksia, joten NePlanin dokumentointiominaisuudet ovat hieman puutteelliset suurempaa projektityötä ajatellen. Ohjelma keskittää verkkomallin yhteen projektitiedostoon, jonka jakaminen muiden projektissa toimivien henkilöiden kanssa on erittäin helppoa.

7 YHTEENVETO

Työn toteutus perustui pääosin esimerkkiverkon laskennasta saatuihin tuloksiin ja näiden tulkintaan, joten ohjelmia vertailtiin vain kyseisen verkon laskennan kannalta. Vertailun tulokset ovat kuitenkin hyvin sovellettavissa muihin vastaaviin laskentacaseihin, sillä samat tiedot on tutkittava verkon mitoittamisen kannalta kaikista verkoista. Työn tavoitteena oli selvittää eri ohjelmien soveltuvuutta teollisuussähköverkon mitoittamiseen ja tämän osalta työssä onnistuttiin hyvin. Eri ohjelmien vahvuudet ja heikkoudet kävivät ilmi laskennan edetessä, ja näiden tulosten pohjalta voidaan jatkossa valita sopiva mitoitusohjelma eri projekteihin verkon laajuuden, rakenteen ja laitteiston huomioiden. Työn ohessa toteutettiin Pöyrylle sisäinen suunnitteluohje pienjännitesähköverkon mitoittamisesta. [21]

Laskentaan valitut ohjelmat olivat hyvin erilaisia suunnitteluratkaisuiltaan. Jokainen ohjelma erikoistui hyvin erilaiseen laskentaan, vaikka kaikki ohjelmat laskivat samoja tietoja verkosta. Schneider Ecodialilla laskenta on kätevää, mikäli on tarkoitus mitoittaa kokonainen teollisuusverkko samalla ohjelmalla, kun taas keskuskohtaiseen laskentaan ABB Doc 2.0 on parempi työväline. Jos tarkoituksena on tarkastella vain yksittäisiä lähtöjä tai erikoisempia verkon mitoittamistarkasteluja, on puolestaan OLS-Consult-ohjelmat huomattavan paljon kätevämpi työkalu verrattuna muihin ohjelmiin. NePlanilla kannattaa laskea suuremman verkon vikavirrat ja muut verkossa esiintyvät suureet, jos verkon ilmiöitä haluaa tarkastella, mutta mitoittamisen kannalta se ei ole välttämättä paras mahdollinen työkalu. Mitoittaessa onkin siis syytä valita kätevin työkalu kyseiseen mitoittamistehtävään sen perusteella, mitä on tarkoitus mitoittaa, laskea, tarkastella tai tutkia. Kaikilla ohjelmilla kyseinen tehtävä onnistuu, mutta jokaisella ohjelmalla on omat vahvuutensa eri osa-alueilla.

Ohjelmien monipuolisuutta mitattaessa monipuolisin toiminnoiltaan on OLS-Consult ohjelmat, sillä ne tarjoavat eniten muokkausmahdollisuuksia lähtöarvoille ja tarjoavat laajimman kattauksen eri sähkötekniisiä tarkasteluja niin mitoittamisen kuin verkostolaskennan saralla. Myös NePlanissa on todella laajat ominaisuudet. Nämä ominaisuudet eivät keskity pelkästään pienjänniteverkon mitoittamiseen, vaan laajemman verkon suureiden laskentaan. Näiden avulla saadaan komponentit mitoitettua, mutta ohjelma ei itsessään tarjoa ratkaisua mitoitusongelmiin, jolloin mitoittajan tulee itse valita sopivat komponentit verkkoon laskentojen perusteella. Valittaessa valmistajien omista ohjelmista pärjää ABB Doc 2.0 ohjelma hieman paremmin laajempien komponenttivalikoimien ja laajempien muokkausmahdollisuuksien ansiosta verrattessa sitä Schneider Ecodialiin. Myös Pöyry Oy:n menneitä projekteja tutkiessa käy ilmi, että Schneider Ecodialin käyttö Suomessa on haastavampaa kuin ABB Doc 2.0, sillä harvoin

tulee eteen tilannetta, jossa pääosa verkon komponenteista on Schneiderin tuotevalikoimasta. Todennäköisempi vaihtoehto on kohdata kyseinen tilanne ABB:n tuotteiden osalta. Tämän seurauksena ABB Doc 2.0 on monipuolisuudeltaan parempi, kun tutkitaan Suomessa toteutettuja projekteja kuin Schneider Ecodial.

Käytettävyydeltään ja selkeydeltään parhaiten ohjelmista pärjää Schneider Ecodial ja NePlan. Schneider Ecodialiin ja NePlanin käyttöliittymät ovat joukon selkeimpiä ja eheimpiä kokonaisuuksia. Molempien piirto- ja muokkaustyökalut ovat loogiset. NePlanissa on huomattavasti enemmän toimintoja, joiden seurauksena käyttöliittymästä voi aluksi olla vaikea löytää etsimäänsä, mutta kun ohjelma tulee tutuksi, huomaa käyttäjä, että käyttöliittymä on erittäin selkeä ja looginen. Seuraavaksi helpoin käytettävyydeltään on ABB Doc 2.0 ohjelma. Doc 2.0 ohjelmassa on hieman epäselkeämpi käyttöliittymä verrattuna Schneider Ecodialiin tai NePlaniin, mutta pääosin eri kokonaisuudet on sijoiteltu ohjelman käyttöliittymään loogisesti. Verkkomallin piirtäminen on kuitenkin huomattavasti haastavampaa kuin Schneiderin Ecodialissa tai NePlanissa, erikoisten piirtotyökalujen ansiosta. Käytettävyydeltään heikoimmaksi jää OLS-Consult ohjelmat lähinnä siksi, että ohjelmia käytettäessä ei kaikkea laskentadataa saa keskitettyä yhteen ohjelmaan, vaan jopa samaa laskentapohjaa voi joutua käyttämään useasti saman laskennan aikana ja tällöin laskennan läpivieminen suurissa projekteissa voi olla haastavaa. Lisäksi OLS-Consult-ohjelmissa ei käyttäjää opasteta aivan yhtä paljon ohjelmien käytössä laskennan aikana kuin muissa vertailun ohjelmissa. OLS-Consult ohjelmista löytyvät ohjeet ovat melko suppeita ja lähinnä opastavat vain hieman ohjelman käytössä ja tulosten tulkinnassa.

Dokumentoinnissa ja projektin hallinnassa laajimmat ominaisuudet sisältyvät ABB Doc 2.0 dokumentointi työkaluun. Sillä voidaan päättää kaikesta laskentadatasta osat, jotka halutaan sisällyttää loppudokumenttiin tai jättää siitä pois. Schneider Ecodial ei sisällä aivan yhtä hyviä dokumentointiominaisuuksia kuin ABB Doc 2.0 ohjelma, koska loppudokumentin sisältöön ei pääse vaikuttamaan yhtä laajasti kuin Doc 2.0 ohjelmassa. Molemmat ohjelmista tallentavat kaiken laskentadatan ohjelman luomaan projektitiedostoon, jolloin projektin hallinta on helpompaa. Heikoiten dokumentoinnissa ja projektin hallinnassa pärjasi OLS-Consult-ohjelmat, jotka eivät varsinaisesti sisällä dokumentointi ominaisuuksia, vaan käyttäjän tulee itse huolehtia tulosten loppudokumentoinnista. Lisäksi OLS-Consult-ohjelmat on rakennettu usean Excel-pohjaisen tiedoston varaan, joten yhteistä projektitiedostoa ei voida luoda samalla tapaa kuin kolmessa muussa vertailuun valitussa ohjelmassa, kun ohjelman sisäistä verkkomalliakaan ei luoda. NePlanissa on kätevinä luoda verkkomallin pohjalta tiedosto jossa tulokset esitetään. Tämä on selkeä tapa esittää tulokset, mutta usein vaatii lopputuloksista jonkinlaisen muunkin dokumentin tämän lisäksi, jossa selitetään tuloksien lähtötiedot. Myös NePlanissa laskentadata tallennetaan yhteen tiedostoon, jolloin suuremmissa projekteissa ohjelman käyttö helpottuu.

Vertailun tuloksista nähdään, että jokainen ohjelma on parhaimmillaan omalla osaluueellaan. Myös erilaiset ohjelmien suunnittelun lähtökohdat erottuvat ohjelmien rakenteellisissa ratkaisuissa ja toiminnoissa. Tästä syystä laskentaa tai mitoittamista aloit-

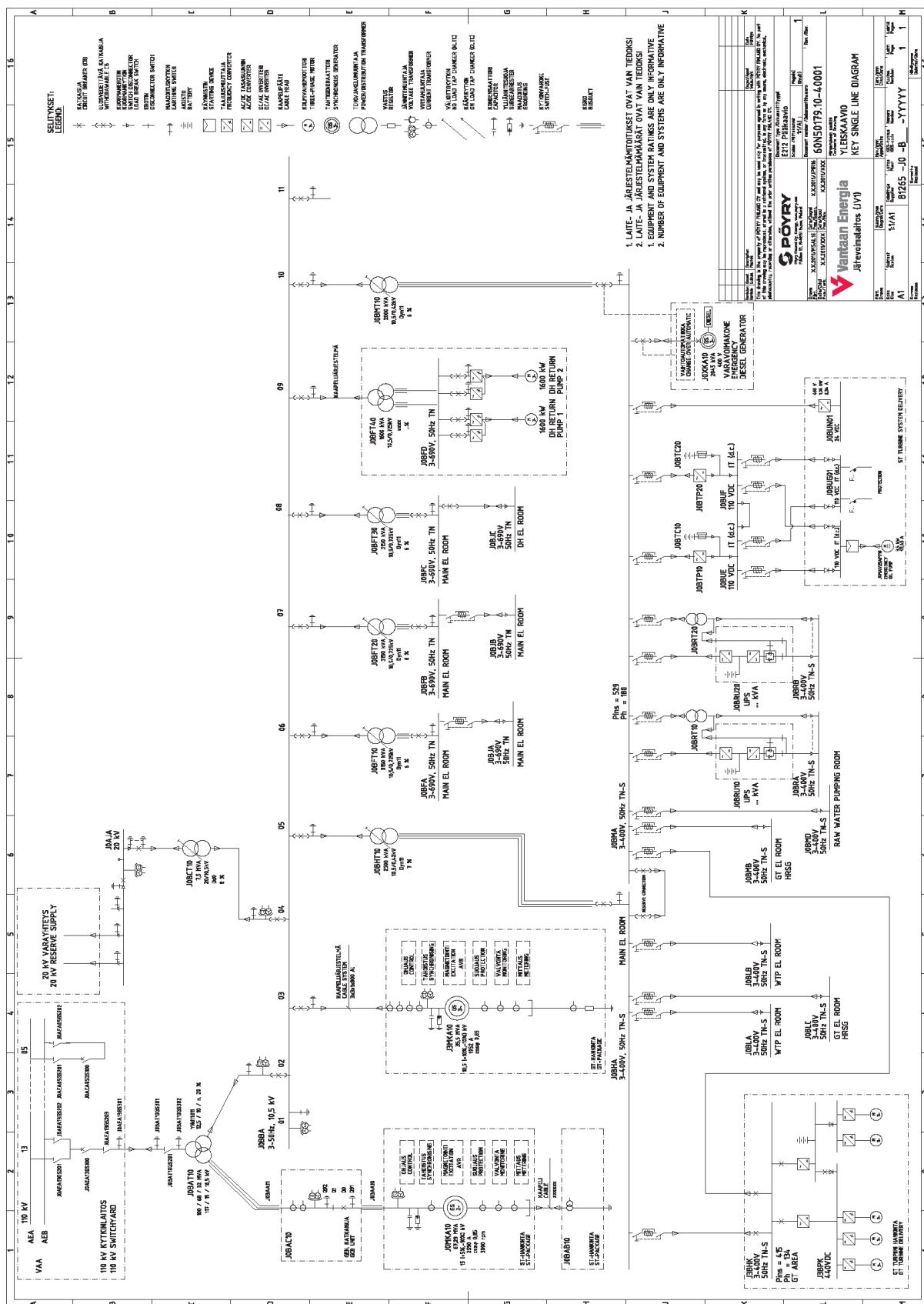
taessa on syytä käyttäjän miettiä tarkkaan, minkälainen laskenta on projektissa tarpeen. Tämän jälkeen on oleellista valita sopiva ohjelma kyseiseen laskentaan, ja näin voi säästyä monelta eri ongelmalta, jotka tulisivat vastaan väärän laskentaohjelman seurauksena. Työn case-laskennan perusteella voisi sanoa, että lyhyisiin yksittäisiin tarkasteluihin tai erikoistilanteisiin OLS-Consult-ohjelmat toimivat parhaiten, kun taas laajempaan mitoittamiseen kannattaa valita toinen ABB Doc 2.0 tai Schneider Ecodial ohjelmista, riippuen siitä millaisia komponentteja verkko sisältää. Jos kyseessä on laajempi verkko, josta halutaan laskea tiettyjä suureita ja tutkia ilmiöitä, kannattaa puolestaan turvautua NePlaniin, jolla tämä on helpointa, ja jossa on toimintoja, joita muissa ohjelmissa ei ole. Oikean ohjelman valitseminen ja oikeiden mitoitus tulosten saaminen jää lopulta kuitenkin mitoittajan vastuulle.

LÄHTEET

- [1] Lakervi, E. & Partanen, J. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki 2009. Gaudeamus Helsinki University Press / Hakapaino. 295 s.
- [2] Pöyry Oy:n Intranet
- [3] Käsikirja rakennusten sähköasennuksista, D1-2012. 20. painos. Espoo 2013. Sähkö ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 402 s.
- [4] SFS 6000-5-54. 2012. Pienjännitesähköasennukset.
Osa 5-54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen, Maadoittaminen ja suojajohtimet. 3. painos. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS, SESKO ry. 27 s.
- [5] SFS 6000-1. 2012. Pienjännitesähköasennukset.
Osa 1: Perusperiaatteet, Yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. 3. painos. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS, SESKO ry. 63 s.
- [6] Rissanen, R. 2010. Teollisuuden sähköasennukset ja verkot. Savonia-ammattikorkeakoulu. Kuopio. Luentomateriaali Saatavissa:
- [7] SFS 6000-5-52. 2012. Pienjännitesähköasennukset.
Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen, Johtojärjestelmät. 4. painos. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS, SESKO ry. 59 s.
- [8] SFS 6000-4-41. 2012. Pienjännitesähköasennukset.
Osa 4-41: Suojausmenetelmät, Suojaus sähköiskulta. 3. painos. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS, SESKO ry. 30 s.
- [9] SFS 6000-4-43. 2012. Pienjännitesähköasennukset.
Osa 4-43: Suojausmenetelmät, Ylivirtasuojaus. 3. painos. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS, SESKO ry. 24 s.
- [10] Ensto - Oikosulkuvirran laskenta [WWW] [viitattu 1.10.2014] Saatavissa:
<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210598828380/1211200962452/1211200997922.html>
- [11] IEC 60909-0. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents according to IEC 60909-0. 2. painos. Geneve, Sveitsi, IEC, 2002. 159 s.
- [12] SFS-EN 60947-4-1. 2010. Pienjännitekytkinlaitteet.
Osa 4-41: Kontaktorit ja moottorinkäynnistimet, Sähkömekaaniset kontaktorit ja moottorinkäynnistimet. 2. painos. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS, SESKO ry. 118 s.
- [13] OLS-Consult.fi – Tuote-esittelyt [WWW] [viitattu 9.7.2014] Saatavissa:
<http://www.ols-consult.fi/Products.html>

- [14] NePlan.ch – NePlan Desktop Overview [WWW] [viitattu 18.8.2014] Saatavissa: http://www.neplan.ch/html/e/e_PowerSystems_Overview_default_desktop.htm
- [15] Tekla.com – Tuotteet – Trimble NIS [WWW] [viitattu 18.8.2014] Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/tuotteet/trimble-nis>
- [16] Sähköala.fi – Sähköinfo - Artikkelit [WWW] [viitattu 18.8.2014] Saatavissa: http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/sahkoinfo-lehti/sahkoinfo_lehti_1_2013/muut_jutut/fi_FI/febdok/
- [17] Nelfo.no – Produkter – Febdok ENG [WWW] [viitattu 18.8.2014] Saatavissa: <http://nelfo.no/Produkter/DataverktoyProgramvare/FEBDOK/Febdok-ENG/>
- [18] Reka Kaapeli Oy - Alumiinivoimakaapeli AMCMK [WWW] [viitattu 20.10.2014] Saatavissa: http://www.reka.fi/products/reko/AMCMK_0,6_Alumiinivoimakaapeli
- [19] Reka Kaapeli Oy - Kuparivoimakaapeli MCMK F2 [WWW] [viitattu 20.10.2014] Saatavissa: http://www.reka.fi/products/reko/MCMK+F2_0%2C6_Kuparivoimakaapeli
- [20] Reka Kaapeli Oy - Kuparivoimakaapeli MCMK F4B [WWW] [viitattu 20.10.2014] Saatavissa: http://www.reka.fi/products/reko/MCMK%2BF4B_0%2C6_Kuparivoimakaapeli
- [21] Viderholm, J. Pöyryn sisäinen suunnitteluohje pienjännitesähköverkon mitoittamiseen. Tampere 2015, s. 5

LIITE 1: JÄTEVOIMALAITOKSEN VERKKO



LIITE 2: OLS-CONSULT MITOITUSTAULUKOT

Pöytäkirja
22.10.2017

RATING TABLE

DIMENSIONING TABLE, FUSED MOTOR FEEDER 800V AT MCC FED BY 240V WVA DISTRIBUTION TRANSFORMER, 80%
RATING TABLE

Pn	In	Ia	A	FUSE Rating Time s	Fixed load break switch	Contactor	DOL REV	Model size	MOTOR PROTECTION				CURRENT RATINGS			CONTROL VOLTAGE	MCC - Safety switch MCCB (A) Icu (kA)	New allowed MCCB (A) Icu (kA)	Safety switch	CABLE Safety switch - Motor Feeder (mm²)
									TYPE	300 A	400 A	500 A	TRANS DOL	1A/3A	3A/7A	OT				
0.08	0.03	2	20A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	0.23 A/3	0.23 A/3	0.23 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
0.12	0.4	2	20A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	0.41 A/3	0.41 A/3	0.41 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
0.16	0.4	3	20A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	0.61 A/3	0.61 A/3	0.61 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
0.25	0.5	3	20A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	0.74 A/3	0.74 A/3	0.74 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
0.37	0.9	3	20A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	0.74 A/3	0.74 A/3	0.74 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
0.56	1.4	6	20A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	1.00 A/3	1.00 A/3	1.00 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
0.80	1.8	6	20A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	1.20 A/3	1.20 A/3	1.20 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
1.1	1.9	8	20A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	1.70 A/3	1.70 A/3	1.70 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
1.6	3	12	40A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	2.00 A/3	2.00 A/3	2.00 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
2.2	3	20	40A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	3.10 A/3	3.10 A/3	3.10 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
3.0	3	32	60A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	4.00 A/3	4.00 A/3	4.00 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
4.0	6	42	60A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	5.70 A/3	5.70 A/3	5.70 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
5.6	6	54	60A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	6.00 A/3	6.00 A/3	6.00 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
7.2	6	74	60A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	10.0 A/3	10.0 A/3	10.0 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
11	14	86	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	16.0 A/3	16.0 A/3	16.0 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
16	17	130	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	18.0 A/3	18.0 A/3	18.0 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
18.5	21	153	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	22.0 A/3	22.0 A/3	22.0 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
22	26	178	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	28.0 A/3	28.0 A/3	28.0 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
30	34	234	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	38.0 A/3	38.0 A/3	38.0 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
40	42	345	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	45.0 A/3	45.0 A/3	45.0 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
56	60	420	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	60.0 A/3	60.0 A/3	60.0 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
72	82	560	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	66.0 A/3	66.0 A/3	66.0 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
96	97	728	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	86.0 A/3	86.0 A/3	86.0 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
128	128	885	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	100 A/3	100 A/3	100 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
160	160	1000	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	110 A/3	110 A/3	110 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
180	177	1050	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	110 A/3	110 A/3	110 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
208	219	1813	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	165 A/3	165 A/3	165 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
288	276	1958	200A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	165 A/3	165 A/3	165 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
316	337	2513	400A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	165 A/3	165 A/3	165 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
368	377	2850	400A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	165 A/3	165 A/3	165 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
408	426	3183	500A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	250 A/3	250 A/3	250 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
480	480	3463	500A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	320 A/3	320 A/3	320 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
600	604	4028	500A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	320 A/3	320 A/3	320 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
800	804	5028	500A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	400 A/3	400 A/3	400 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5
1000	1004	6028	500A		CB800	A19	600/200	600/200	TF42	400 A/3	400 A/3	400 A/3	-	6	6		600V-4	Cu 3x2.5+2.5	>200	Cu 3x2.5+2.5

Conductor class 2 EC 60067 AC3
Funder current (In) or Ia, starting time or time allowed length of cable differ from table, dimensioning has to be checked.
Dimensioning table should allow to replace the motor by next larger rating.
Voltage drop at motor terminals (V_m) must be less than 1% (motor 250A) and over voltage drop rate 20%.

At the MCC components (the table) have been chosen by MCC

1) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

2) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

3) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

4) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

5) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

6) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

7) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

8) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

9) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

10) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

11) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

12) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

13) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

14) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

15) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

16) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

17) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

18) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

19) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

20) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

21) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

22) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

23) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

24) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

25) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

26) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

27) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

28) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

29) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

30) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

31) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

32) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

33) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

34) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

35) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

36) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

37) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

38) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

39) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

40) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

41) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

42) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

43) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

44) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

45) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

46) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

47) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

48) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

49) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

50) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

51) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

52) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

53) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

54) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

55) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

56) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

57) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

58) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

59) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

60) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

61) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

62) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

63) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

64) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

65) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

66) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

67) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

68) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

69) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

70) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

71) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

72) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

73) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

74) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

75) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

76) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

77) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

78) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

79) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

80) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

81) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

82) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

83) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

84) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

85) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

86) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

87) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

88) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

89) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

90) If the MCC components (the table) have been chosen by MCC

DIMENSIONING TABLE, gG-FUSE FEEDER 690V AT MCC FED BY 3150 KVA DISTRIBUTION TRANSFORMER, IT, 50Hz

Voltage V	Fused load break switch	MCC		SUB-MCC		Max load for cable k=0.616 (SF 56000)	Maximum cable temperature C° 1)	PVC-Isolated, Cu- or Al-CABLE 4)		Note
		Fuse, A gG, IEC	Modul size	Fuse size	3) Min A	Maximum selective fuse aM A gG A		Max allowed length, m	Voltage drop %, 100m 2)	
690	OS32	2	300x200		3			Cu 3x1,5+1,5	>200	
690		4			6			Cu 3x1,5+1,5	>200	
690		6			8			Cu 3x1,5+1,5	>200	
690		10			14			Cu 3x2,5+2,5	>200	
690		16			18			Cu 4X6+6	>200	
690		20			22			Cu 4X6+6	>200	
690		25			28			Cu 4X10+10	>200	
690		32			35			Cu 4X16+16	>200	
690	OS63	40			44			Cu 4X16+16	>200	
690		50			55			Al 3x35+21	>200	
690		63			70			Al 3x70+21	>200	
690	OS125	80	300x300		88			Al 3x120+41	>200	
690		100			110			Al 3x120+41	>200	
690		125			138			Al 3x185+57	>200	
690	OS250	160	600x400		177			Al 3x240+72	>200	
690	200			221			Al 2x(3x120+41)	>200	
690		250			276			Al 2x(3x185+57)	>200	
690	OS400	315			348			Al 2x(3x240+72)	>200	
690		400			441			Al 3x(3x185+57)	>200	
690	OS630	500	600x500		552			Al 3x(3x240+72)	>200	
690		630			695			Cu 3x(3x240+120)	>200	
690	CB TYPE	In / A								
690	E2S	800						Cu 4x(3x240+120)		
690	E2S	1000						Cu 6x(3x185+95)		
690	E2S	1250						Cu 6x(3x240+120)		
690	E2S	1600						Cu 8x(3x240+120)		

Cable: PVC-insulated, multi-core concentric Cu- or Al-cable.

If Sub-MCC values or length of cable differ from table, dimensioning has to be checked.



Maximum allowed cable length is for 0.2 disconnection time up to and including 32 gG and for 5 s disconnection time from 40 gG up to and including 630 gG.

1) Load current corresponds cable temperature 90 °C°. Tripping current of fuse is upper limit I_n according to IEC 60269.

2) Load current same as fuse nominal current, cable length 100 m, conductor temperature 50 °C and cos phi 0.8.

3) Minimum continuous current for cable when gG-fuse works as an overload protection device.

4) Not for underground installation.

 Vantaan Energia		VANTAAN ENERGIA OY JV1 PROJECT	Drawn Designed Checked Approved	22.10.2012 / TSN16 22.10.2012 / TSN16	RATING TABLE 690 V FEEDER	60N50179.10
---	---	-----------------------------------	--	--	---------------------------	-------------

[illegible]

Report of protections

-WC2

Phases - Dist System		LLL / TN-S
Voltage	[M]	690
Ib (A)	[A]	83
Cable		0.85
Cable size		4G4/4
Insulator		PVC
Length (m)	[m]	3
Iz (A)	[A]	29.9
dV (%)		0.03

Overload	
FFR8	TA200U11.00
OL - b (0.3A) <= I _b (0.3A) <= I _n (20.5A) [m] (10.2A) <= I _{ΔT} (43.4A) V _{ph} 690V	
Short circuit	
FFU1	AM 00 10
SC - Suppression value with LLL (0.28A), IN LPE (0.28A), V _{ph} 690V	
Indirect touch	
FFU1	AM 00 10
NOT - I _{sc} with LLL (0.110A) <= I _{lim} LPE (0.409A), V _{ph} 690V	

-WC3

Phases - Dist System		LLL / TN-S
Voltage	[M]	690
Ib (A)	[A]	294.5
Cable		0.80
Cable size		2x 4G150/5
Insulator		PVC
Length (m)	[m]	80
Iz (A)	[A]	380.0
dV (%)		0.33

Overload	
FFR20	ES000U 500
OL - b (294.5A) <= I _b (294.5A) <= I _n (380.0A) [m] (380.0A) <= I _{ΔT} (108.0A), V _{ph} 690V	
Short circuit	
FFU2	AM 2 400
SC - Suppression value with LLL (1.100A), IN LPE (1.100A), V _{ph} 690V	
Indirect touch	
FFU2	AM 2 400
NOT - I _{sc} with LLL (0.330A) <= I _{lim} LPE (75.09A), V _{ph} 690V	

-WC4

Phases - Dist System		LLL / TN-S
Voltage	[M]	690
Ib (A)	[A]	294.5
Cable		0.80
Cable size		2x 4G150/5
Insulator		PVC
Length (m)	[m]	80
Iz (A)	[A]	380.0
dV (%)		0.33

Overload	
FFR9	ES000U 500
OL - b (294.5A) <= I _b (294.5A) <= I _n (380.0A) [m] (380.0A) <= I _{ΔT} (108.0A), V _{ph} 690V	
Short circuit	
FFU3	AM 2 400
SC - Suppression value with LLL (1.100A), IN LPE (1.100A), V _{ph} 690V	
Indirect touch	
FFU3	AM 2 400
NOT - I _{sc} with LLL (0.330A) <= I _{lim} LPE (75.09A), V _{ph} 690V	

-WC5

Phases - Dist System		LLL / TN-S
Voltage	[M]	690
Ib (A)	[A]	606.2
Cable		0.98
Cable size		3x 4G240/20
Insulator		PVC
Length (m)	[m]	902
Iz (A)	[A]	794.6
dV (%)		0.48

Overload	
QPF14	TSH 630 PR221DGLS/1 600A
OL - b (606.2A) <= I _b (606.2A) <= I _n (794.6A) [m] (819.0A) <= I _{ΔT} (1102.2A), V _{ph} 690V	
Short circuit	
QPF14	TSH 630 PR221DGLS/1 600A
SC - Suppression value with LLL (38.00A), IN LPE (38.00A), V _{ph} 690V	
Indirect touch	
QPF14	TSH 630 PR221DGLS/1 600A
NOT - I _{sc} with LLL (0.119A) <= I _{lim} LPE (625.6A), V _{ph} 690V	

Rev. n°	1	Date		Signature		Stamp		Rev. n°	1	Date		Signature		Stamp		Rev. n°	2	Date		Signature		Stamp	
Rev. n°	2	Date		Signature		Stamp		Rev. n°	2	Date		Signature		Stamp		Rev. n°	2	Date		Signature		Stamp	

[illegible][illegible]

1 Project description

1.1 Project general settings

Installation standard	IEC80364
Calculation standard	TR50480
Circuit breaker standard	IEC 60947-2
Frequency	50 Hz

1.2 Settings for wiring device calculation

Maximal CSA 300 mm²

1.3 List of loads

1.3.1 Generic loads

Name	Sr (kVA)	Pr (kW)	Ir (A)	Cosp	Nbr	Polarity	Non linear load	THDi 3 (%)
AA 5	2090	2090	1749	1	1	3Ph+N	No	0
AA 5 (1)	724	710	606	0.98	1	3Ph	No	0
AA 5 (1) (1)	724	710	606	0.98	1	3Ph	No	0
AA 5 (1) (2) (2)	321	315	269	0.98	1	3Ph	No	0

1.3.2 Motor loads

Name	Sr (kVA)	Pr (kW)	Ir (A)	Cosp	Nbr	Polarity	Non linear load	THDi 3 (%)
MA 3 (1)	10.7	9.1	8.99	0.85	1	3Ph	No	0
MA 3 (2)	309	272	259	0.88	1	3Ph	No	0
MA 3 (2) (1)	309	272	259	0.88	1	3Ph	No	0

2 Installation general design

2.1 List of devices

2.1.1 MV/LV transformer

Name	Nbr	Range	Insulation	Sr (kVA)	ukrT (%)	Connection	U2 (V)	SEA	Rb (mΩ)
TA 0	1	Trihal		3150	6		720	TN-S	10000

2.1.2 LV switchboards and busbar

Switchboard name	Range	Rating (A)	IP
UC 2	No preference	0.00	Undefined

Busbar name	Switchboard name	Ks	Polarity	SEA	Equipotential bounding
WC 1	UC 2	1	3Ph+N	TN-S	With

2.1.3 Circuit breaker

Name	Nbr	Range - Designation	Rating (A)	Poles	Trip unit/Curve	RCD	RCD class
QA 0	1	Masterpact NW - NW32H1	3200	4P4d	Micrologic 5.0 E		
QA 3 (1)	1	GV - GV2P+LA9L B920	10	3P3d	P14		
QA 5	1	Masterpact NW - NW20H2a	2000	4P4d	Micrologic 2.0 E		
QA 5 (1)	1	Compact NSX - NSX630R	630	3P3d	Micrologic 2.3		
QA 5 (1) (1)	1	Compact NSX - NSX630R	630	3P3d	Micrologic 2.3		

2.1.4 Fuse combination unit

Name	Nbr	Carrier range	Poles	Fuse Rating (A)	Fuse technology	RCD	RCD class
QA 3 (2)	1	Fupact	3P3f	355	DIN/gG		
QA 3 (2) (1)	1	Fupact	3P3f	355	DIN/gG		
QA 5 (1) (2) (2)	1	Fupact	3P3f	355	DIN/gG		

2.1.5 Transmission busbar trunking system schedule

Name	Nbr	Incomer	Feeder	L (m)	Range	Rating (A)
WD 0	1	TA 0	QA 0	10	KTA	3200

2.1.6 Cable schedule

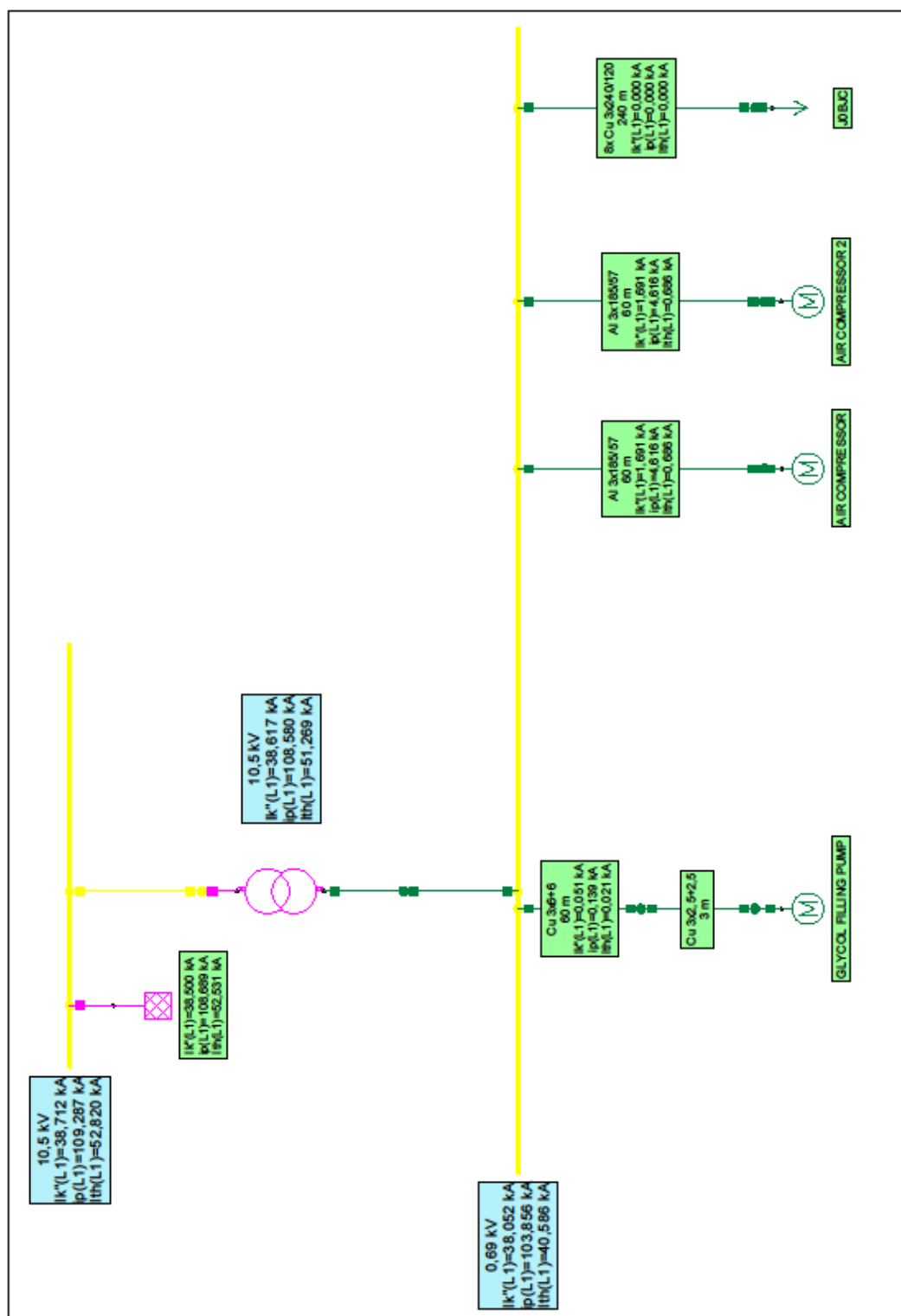
Name	Nbr	Incomer	Feeder	Type	Insulation	L (m)	L1/L2/L3	N	PE/PEN
WD 5	1	QA 5	AA 5	Multi-core	PVC	240	9x300 Copper	9x300 Copper	5x300 Copper
WD 5 (1) (2) (2)	1	QA 5 (1) (2) (2)	AA 5 (1) (2) (2)	Multi-core	PVC	235	2x240 Copper		1x240 Copper

WD 5 (1) (1)	1	QA 5 (1) (1)	AA 5 (1) (1)	Multi-core	PVC	105	3x240 Copper	2x185 Copper
WD 5 (1)	1	QA 5 (1)	AA 5 (1)	Multi-core	PVC	105	3x240 Copper	2x185 Copper
WD 3 (1)	1	QA 3 (1)	MA 3 (1)	Multi-core	PVC	63	1x1.5 Copper	1x4 Copper
WD 3 (2) (1)	1	QA 3 (2) (1)	MA 3 (2) (1)	Multi-core	PVC	60	2x240 Copper	1x240 Copper
WD 3 (2)	1	QA 3 (2)	MA 3 (2)	Multi-core	PVC	60	2x240 Copper	1x240 Copper

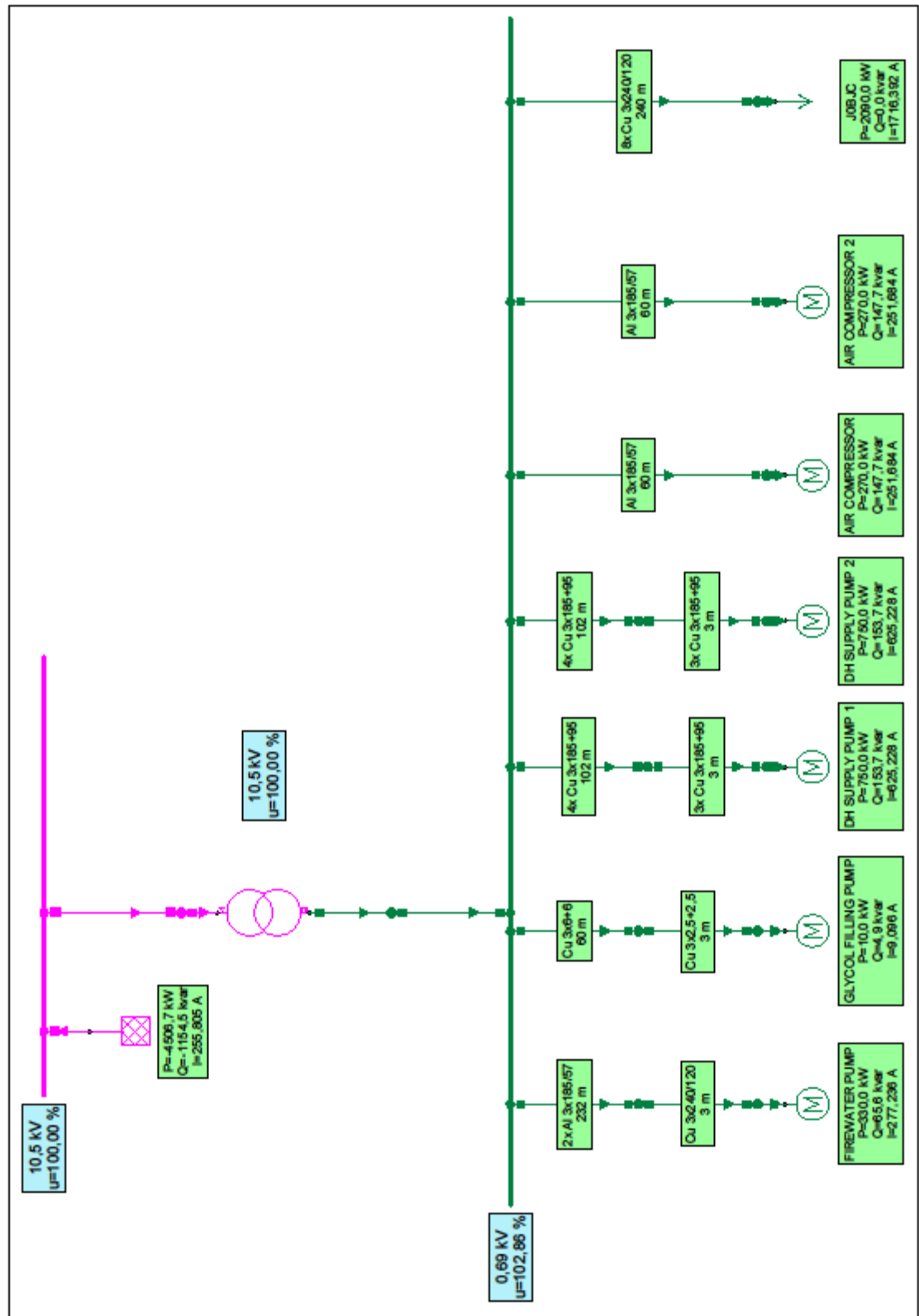
2.1.7 MV Cable

Name	Nbr	Designation	CSA (mm²)	Icc (A)	In (A)	Un (kV)
MVWD 0	1	NA	1 x 500 Al	44.3	648	12

LIITE 5: NEPLAN LASKENNAN TULOKSET



3-v vikavirrat



Tehonjako